

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Optimalizace řezných podmínek při soustružení kalené
oceli.

Cutting Condition Optimization at Hardened Steel Turning.

Student: Straka Jakub

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Vrba Vladimír, CSc.

Ostrava 2009



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Optimalizace řezných podmínek při soustružení kalené oceli

Cutting Condition Optimization at Hardened Steel Turning

Student: Jakub Straka
Studijní obor: 2303R002 – 70 Strojírenská technologie
Pracoviště: Katedra obrábění a montáže – 346

Zásady pro zpracování:

1. Obecná charakteristika problému.
2. Problematika obrábění těžkoobrobitelných materiálů.
3. Návrh řezných podmínek pro konkrétní součást.
4. Vyhodnocení experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Pokyny pro zpracování:

Rozsah práce: Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Seznam doporučené literatury:

- VASILKO, K., NOVÁK-MARCINČIN, J., HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo. [I]* Prešov : Datapress Prešov, 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- NESLUŠAN, M., TUREK, S., BRYCHTA, J., ČEP, R., TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání. [I]* Žilina : EDIS Žilina, 2007, 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- BRYCHTA, J., HAVRILA, M., JURKO, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábání, I. část – Obrábané materiály.* Žilina : Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006, 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- ZAJAC, J., JURKO, J., ČEP, R. *Top trendy v obrábání, II. část – Nástrojové materiály. [I]* Žilina : Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006, 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- VASILKO, K., HAVRILA, M., MARCINCIN-NOVÁK, J., MÁDL, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábání, III. část – Technologie obrábění. [I]* Žilina : Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006, 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Vladimír Vrba CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 8. října 2008

Datum odevzdání bakalářské práce: Akademický rok 2008/2009



doc. Dr. Ing. Josef BRYCHTA
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim FARANA, CSc.
děkan

V Ostravě dne 1. října 2008

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдоміі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдоміі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

STRAKA, J. Optimalizace řezných podmínek při soustružení kalené oceli. Ostrava: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, 51 s. Bakalářská práce, vedoucí doc. Ing. Vladimír Vrba CSc.

Tato bakalářská práce se zabývá optimalizací řezných podmínek při soustružení kalené oceli. Je známo, že je soustružení v dnešní době velmi oblíbeným způsobem obrábění kovů. Na úvod jsou vysvětleny a popsány jednotlivé pojmy z problematiky soustružení. Vznik a tvorba třísky a doprovodné jevy při soustružení, jako je vznik tepla, vznikající síly, chlazení a mazání. Následně je zmíněna geometrie břitu a rozebrána problematika nástrojových materiálů, které při dnešním soustružení používáme.

Následuje praktická část, kde jsou uvedené naměřené parametry, následné vyhodnocení všech poznatků a porovnání s předešlým způsobem opracování. Závěrem je technicko-ekonomické zhodnocení vybraných podmínek, návrh a doporučení optimálního řešení pro opracování dané součásti.

Klíčová slova: těžkoobrobitelný materiál, kubický nitrid boru, optimální řezné podmínky.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

STRAKA, J. Cutting Condition Optimization at Hardened Steel Turning.

Ostrava: Department of machining and assembly, Faculty of Mechanical Engineering

VŠB-Technical University of Ostrava, 2009, 51s. Bachelor thesis, head doc. Ing. Vladimír Vrba CSc.

This bachelor thesis deals with the optimization of cutting conditions in turning hardened steel. It is known that turning is very popular way of metal cutting. Preliminary individual terms of turning issues are explained and described. Origination and development of steel turnings and the accompanying phenomena in turning, such as the generation of heat, emerging forces, cooling and lubrication. Subsequently the geometry of the blade is mentioned and elaboration of problems of tool materials, which are used in turning today. Practical part follows, where the measured parameters are referred and the subsequent evaluation of all findings, compared to the former ways of cutting. At last the technical-economic assessment of selected conditions and proposal with recommendation of the optimal solution for cutting the specific component are included.

Key words: difficult to cut material, cubic boron nitride, optimal cutting conditions

OBSAH

ÚVOD	1
FIRMA A JEJÍ HISTORIE.....	1
DŮVOD PRÁCE	2
1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA PROBLÉMU.....	3
1.1 ZÁKLADNÍ POJMY A DĚLENÍ SOUSTRUŽENÍ.....	3
1.2 TŘÍSKA A TVORBA TŘÍSKY	6
1.3 TEPLA A TEPLOTA PŘI OBRÁBĚNÍ, MAZÁNÍ A CHLAZENÍ.....	9
1.4 SÍLY A VÝKON PŘI SOUSTRUŽENÍ	11
1.5 TRVANLIVOST BŘITU A MECHANICKÉ OPOTŘEBENÍ.....	13
2 PROBLEMATIKA OBRÁBĚNÍ TĚŽKO OBRÁBITELNÝCH MATERIÁLŮ	16
2.1 ŘEZNÉ NÁSTROJE.....	17
2.2 GEOMETRIE BŘITU NÁSTROJE	17
2.3 NÁSTROJOVÁ A PRACOVNÍ SOUSTAVA.....	19
2.4 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY.....	23
3 NÁVRH ŘEZNÝCH PODMÍNEK PRO KONKRÉTNÍ SOUČÁST	28
3.1 OBECNÉ PŘEDPOKLADY	28
3.2 POPIS MĚŘENÍ	29
3.3 KONKRÉTNÍ ZKOUŠKA	30
4 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ.....	39
4.1 DOSAŽENÁ DRSNOST	39
4.2 ŘEZNÉ PODMÍNKY.....	42
4.3 ZÁVISLOSTI	44
5 TECHNOCKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	47
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	48
PŘÍLOHY.....	49

Seznam použitých zkratk

$A\alpha$	plocha hřbetu nástroje	[/]
$A\gamma$	plocha čela nástroje	[/]
α	úhel hřbetu	[°]
a	tloušťka odřezané vrstvy	[mm]
a_p	hloubka řezu	[mm]
a_1	tloušťka odřezané třísky	[mm]
D	vnější průměr	[mm]
d	vnitřní průměr	[mm]
η	úhel řezného pohybu	[°]
F	celková výsledná síla	[N]
F_c	řezná síla	[N]
F_f	posuvová síla	[N]
F_p	pasivní síla	[N]
\emptyset	úhel stříhu	[°]
\emptyset_1	úhel kluzných ploch	[°]
γ	úhel čela	[°]
K	součinitel přechování třísky	[/]
KBN	kubický nitrid boru	[/]
K_{VO}	objemový součinitel třísky	[/]
k_c	měrná řezná síla	[MPa]
χ_r	úhel nastavení hlavního ostří	[°]
χ_r'	úhel nastavení vedlejšího ostří	[°]
l	délka odřezané vrstvy	[mm]
l_1	délka odebrané třísky	[mm]
λ_s	úhel sklonu hlavního ostří	[°]

n	otáčky	[ot/min]
P_c	výkon elektromotoru stroje	[W]
P_f	rovina boční	[/]
PKD	polykrystalický diamant	[/]
P_n	rovina normálová	[/]
P_o	rovina ortogonální	[/]
P_p	rovina zadní	[/]
P_{pr}	příkon stroje	[W]
P_r	rovina základní	[/]
P_s	rovina ostří	[/]
π	konstanta	[/]
Q_n	teplo odvedené nástrojem	[J]
Q_o	teplo odvedené obrobkem	[J]
Q_r	teplo odvedené okolním prostředím	[J]
Q_t	teplo odvedené třískou	[J]
R_a	střední aritmetická odchylka od střední čáry profilu	[μm]
R_z	maximální výška nerovnosti	[μm]
r	poloměr zaoblení špičky nože	[mm]
S	průřez odebrané vrstvy materiálu	[mm^2]
S	hlavní ostří	[/]
S'	vedlejší ostří	[/]
S_1	průřez odebrané třísky	[mm^2]
s	posuv	[mm/ot]
V_m	plný objem materiálu	[dm^3]
V_t	násypný objem třísek	[dm^3]
v_c	řezná rychlost	[m/min]
v_f	posuvová rychlost	[mm/min]

Úvod

Firma a její historie

Pro svou bakalářskou práci jsem si vybral firmu *Urdiamant s.r.o.* Firma má hlavní sídlo v Šumperku.

Tato firma se specializuje na výrobu diamantových nástrojů a to jak z přírodního, tak z umělého diamantu.

Její historické kořeny sahají hluboko. Roku 1933 zahájila jistá firma *Stellwag* výrobu. Specializovala se na výrobu nástrojů s přírodním diamantem.

Roku 1936 vznikla ochranná známka URDIAMANT. V 50. letech vznikly z firmy *Stellwag* Závody 1. pětiletky, pozdější *Pramet*. Roku 1967 se zde podařilo zvládnout syntézu umělého diamantu. Tímto krokem se tehdejší Československo zařadilo mezi 6 zemí, které zvládly tuto technologii.

Roku 2000 došlo k oddělení od podniku *Pramet* a založením samostatné společnosti vznikla nová firma *Urdiamant s.r.o.*

Dnes má tato firma přes 80 zaměstnanců a roční obrat činí 100 milionů korun. Až 40% výrobků této firmy jde na export, což vyzdvihuje kvalitu výrobků. Firma má pobočku jak na Slovensku, tak i v Polsku.

Hlavními výrobními produkty jsou diamantové nástroje.

Tvoří je například:

- brousící kotouče z diamantu a kubického nitridu bóru
- diamantové nástroje pro opracování skla, nástroje pro stavebnictví a kamenoprůmysl
- dále diamantové nástroje, jakož jsou pilníky, brusné pasty, vnikací tělesa, průvlaky a honovací lišty
- nástroje pro důlní a geologický průmysl

Důvod práce

K výrobě diamantových a KBN brousících kotoučů v pryskyřičném pojivu se využívá lisovacích nástrojů (jako je razník, jádro a objímka) z běžné konstrukční oceli 11 600 pro kusovou výrobu a z nástrojové oceli 19 436 pro sériovou výrobu. Viz schéma sestavy, obr.: 1, foto hotové objímky v příloze viz obr.:1.1 a obr.:1.2.

Přibližný postup výroby:

Nosné těleso kotouče se i s jádrem zalisuje do objímky, tímto vznikne prostor pro nasypání práškové směsi pojiva a brusiva. Poté následuje zalisování razníkem a tím dojde k uzavření formy. Takto složená forma se vloží do lisu s topnými deskami a za předepsaných hodnot dojde k vytvrzení. Po ukončení vytvrzovacího cyklu se forma z lisu vyjme, nechá se zchladnout a následně se rozlisuje. Následuje obrobení tělesa kotouče do požadovaného stavu a jeho broušení. Při broušení dochází k obnažení diamantových nebo KBN zrn keramickým kotoučem. Následuje vyvážení, kontrola, balení a expedice.

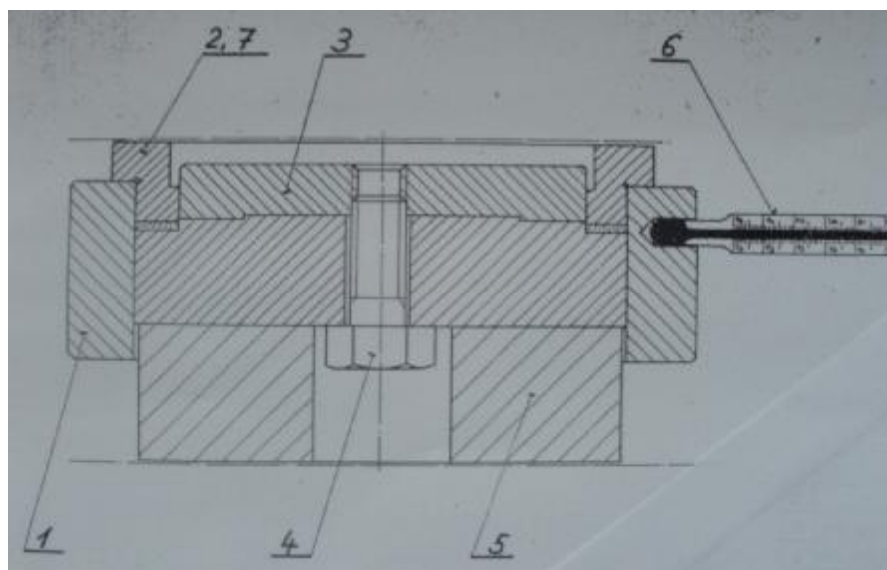
V této práci se budu zabývat výrobou lisovacích nástrojů, objímek z nástrojové oceli 19 436 kalených na 58 HRc.

Firma si doposud tyto nástroje nechala vyrábět externí firmou. Objímky byly soustruženy a následně broušeny na požadovanou drsnost. Z důvodů snížení nákladů se firma snaží vyrábět lisovací nástroje vlastními prostředky a to pouze soustružením, KBN nástroji na CNC soustruhu

Pro jednoduchou ekonomickou a hospodárnou výrobu se firma a já snažíme najít optimální řezné podmínky pro výrobu těchto objímek soustružením.

Hlavním parametrem, který sleduji a řídím se jím, je drsnost obrobeného povrchu.

- 1 – kalená objímka
- 2 – razník
- 3 – jádro
- 4 – upínací šroub
- 5 – lisovací podložka
- 6 – technický teploměr
- 7 – pomocný razník



Obr.:1 – schéma sestavy

1. Obecná charakteristika daného problému

1.1 Základní pojmy a dělení soustružení

Obrábění – technologický proces, při kterém je přebytečný materiál oddělován nástrojem z obrobku ve formě třísky. Tímto vytváříme nový povrch požadovaných tvarů, rozměrů a tolerancí.

Obrábění probíhá v soustavě: stroj – nástroj – obrobek.

Máme několik druhů obrábění:

- mechanické obrábění
- elektroerozivní obrábění
- nekonvenční metody obrábění

Moje metoda, kterou se budu zabývat je *soustružení*:

Soustružení je metoda, především pro výrobu rotačních součástí a obrábění jejich rotačních ploch.

Obrábíme vnější i vnitřní válcové plochy, vnější i vnitřní kuželové plochy, rotační tvarové plochy. Dále je možno soustružením vyrábět závity (vnější i vnitřní), vrtat, vystružovat, dělit materiál upichováním apod.

Soustružení dle kinematiky:

Hlavní řezný pohyb – rotační - obrobek

Vedlejší pohyb – posuv – koná nástroj – podélný (rovnoběžný s osu rotace),

stopa nože na obrobku je šroubovice

- příčný (kolmý na osu rotace),

stopa nože na obrobku je Archimédova spirála

Přísuv – koná nástroj – nastavení hloubky řezu.

*Soustružení dle pohybů:**Hlavní řezný pohyb:*

Vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Směr hlavního řezného pohybu se dá vyjádřit, jako směr okamžitého hlavního pohybu uvažovaného bodu ostří.

Řezná rychlost v_c :

Okamžitá rychlost hlavního řezného pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku v [m/min].

Vedlejší řezný pohyb (posuv):

Výše zmíněn jako vedlejší pohyb, je další relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem v [mm/ot].

Posunová rychlost v_f :

Okamžitá rychlost posuvového pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku. [mm/min].

Výsledný řezný pohyb:

Je výsledek vektorového součtu hlavního řezného pohybu a vedlejšího řezného pohybu.

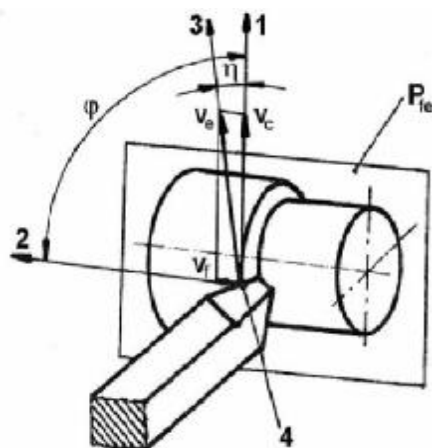
Rychlost výsledného řezného pohybu v_e :

Je to okamžitá rychlost výsledného pohybu uvažovaného bodu ostří k obrobku.

Úhel řezného pohybu h :

Je úhel mezi hlavním řezným pohybem a výsledným řezným pohybem v boční pracovní rovině P_{fe} ve [°].

Znázorněno na orb.2.11.



Obr. 2.11, [5.]

Přísuv:

Vyjadřuje pohyb nástroje k obrobku. Tímto pohybem se nastavuje nástroj do pracovní polohy na požadovanou hloubku řezu a_p v [mm].

Obvodová rychlost obrobku v_c je řeznou rychlostí.

Vypočítáme jej ze vztahu:

Kde:

D = průměr obrobku [mm]

n = otáčky obrobku [ot/min]

v_c = řezná rychlost [m/min]

$$v_c = \frac{p \cdot D \cdot n}{1000}$$

Velikost podélného i příčného posuvu je dráha nože za 1 otáčku obrobku v mm.

Řezná rychlost „ v_c „ – je měřítkem pro hlavní pohyb. Vhodná řezná rychlost závisí na: mechanických vlastnostech materiálu (stupni obrobitelnosti), nástrojových materiálech a jejich řezivosti, velikosti průřezu třísky (velikost posuvu a hloubka řezu) a na trvanlivostech nástroje. Dále také na geometrii břitu, tuhosti soustavy a řezném prostředí.

Posuv „ s „ - závisí na požadované jakosti plochy, tuhosti a velikosti obrobku.

Zásadně se volí maximální velikosti posuvů, které odpovídají uvedeným požadavkům.

Požadavek: chci zkrátit strojní časy – rostoucí posuv zkrátí čas víc, než rostoucí řezná rychlost \Rightarrow z Kritéria maximální produktivity

Hloubka řezu „ a_p „ - je hloubka odřezávané vrstvy materiálu. Závisí na mechanických vlastnostech obráběného materiálu, tuhosti a na způsobu obrábění.

Z hlediska hospodárnosti se musí volit maximální hloubka řezu přípustná pro dané obrábění. Dále souvisí s posuvem na otáčku.

[1.], [3.], [4.], [5.]

1.2 Tříska a tvorba třísky

Tříska:

Je doprovodný produkt soustružení. Přebytečný materiál je odveden ve formě třísky.

Při takovém tempu výroby, jako je dnes, vyprodukujeme velké množství odpadu (třísek).

Z tohoto hlediska je nutné řídit se, nebo alespoň se snažit dodržovat základní požadavky.

Požadavky : - tříska by se měla dělit pokud možno v co nejmenší délce

- z místa řezu by měla plynule a bezproblémově odcházet

- má zaujímat co nejmenší objem – nutno manipulace s odpadem

Vlastnosti a tvar třísky záleží na vlastnostech obráběného materiálu, geometrii břitu, řezných podmínkách a nástrojovém materiálu.

Při určitých řezných podmínkách můžeme docílit požadovaných nároků, ale také se od nich můžeme značně odlišovat. \Rightarrow Z těchto důvodů se musí stanovit řezné podmínky.

Každý výrobce udává ve svých katalozích ke své destičce takzvaný „diagram utvářeče třísky“.

Tyto diagramy platí pouze pro obrábění daných materiálů daným nástrojem.

Oblast vhodného utváření třísek je v souřadném systému s – posuv [mm/ot] a a_p – hloubka řezu [mm]. Když využijeme těchto hodnot a budeme se pohybovat v jejich rozmezí, docílíme splnění podmínek pro vhodné obrábění a tudíž dostaneme i správnou třísku.

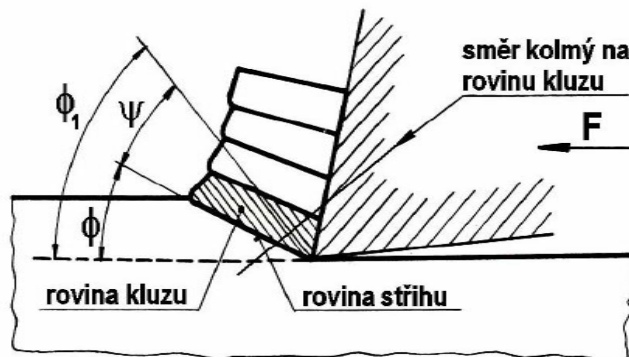
Diagramy tvařeče třísky se používají pro určování řezných podmínek.

Další možností správného dělení třísek je užít takzvané tvařeče třísek.

Tvorba třísky:

Při soustružení je řezný klín vtlačován silou do obrobku. Ještě před vnikem nástroje do materiálu, proběhne rychle elastické deformace. Nástroj pokračuje dále. Před nástrojem vzniká v materiálu napětí, které má za následek plastickou deformaci. Vznikají kluzné plochy pod úhlem Φ_1 . Při dalším pohybu napětí plastické deformace stále roste, dochází

k přechování a posunu vrstev materiálu. Plasticita materiálu je téměř vyčerpaná. Pohyb nástroje pokračuje dále. Napětí roste, až překročí hodnoty meze stříhu materiálu. Dojde k úplnému odříznutí třísky pod úhlem stříhu Φ . Viz obr. 2.21.



Obr. 2.21, [5.]

Při tvorbě třísky rozeznáváme oblasti: viz obr. 2.22

- I. Oblast – Primární plastická deformace.
- II. Oblast – Sekundární plastická deformace.
- III. Oblast – Terciární plastická deformace - deformace povrchu obrobku.

Tvorbě třísky předchází plastická deformace v oblasti tzv. *primární plastické deformace*.

V *oblasti primární plastické deformace* dochází k odřezávání materiálu tloušťky a nástrojem a vzniká tříska o tloušťce a_1 . V této oblasti dochází k přechování materiálu a ke zpevnění materiálu. Na konci primární plastické deformace je plasticita materiálu téměř vyčerpaná a dochází ke kluzu uvnitř materiálu.

Následuje oblast *sekundární plastické deformace*.

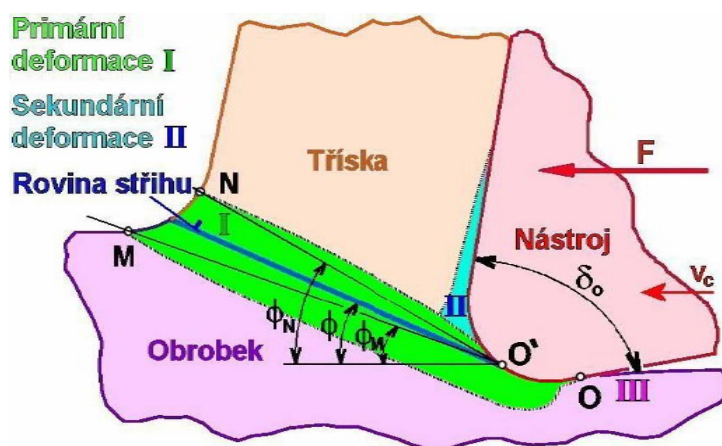
Oblast *sekundární plastické deformace* vzniká při oddělování třísky z obráběného materiálu. Odcházející tříska velmi intenzivně tře o čelo nástroje. Tímto vzniká velká plastická deformace tenké spodní vrstvy třísky. Vlivem velkého tření a velmi vysoké teploty se na nástroji doslova navaňuje část třísky. Tvoří takzvaný nárůstek. Nárůstek se stále zvětšuje, až dojde k mezi pevnosti. Odtrhne se a znehodnotí povrch obrobku.

Nárůstek nám negativně ovlivňuje podmínky řezu, (zvětšuje poloměr ostří, ovlivňuje úhel řezu, ...).

Dále rozlišujeme oblast *terciární plastické deformace* – *deformace povrchu obrobku*.

K *terciární plastické deformaci* dochází v povrchové vrstvě čerstvě obrobené plochy. Mezi nástrojem a obrobkem dochází ke vzniku napětí, které vyvolá v povrchu obrobku tuto plastickou deformaci.

To opět ovlivňuje drsnost obrobené plochy, proto je nutno tuto deformaci eliminovat pokud možno co nejvíce.



Obr. 2.22, [5.]

Součinitel pěchování třísky:

Vlivem plastických deformací v oblasti primární plastické deformace, kde je materiál pěchován, je průřez třísky větší než průřez odřezávané vrstvy.

Platí:

Průřez odřezané třísky je vždy větší než průřez odřezané vrstvy.

Délka třísky je vždy menší než délka odřezané vrstvy.

- z tohoto důvodu zavádíme pojem *součinitel pěchování třísky* K .

Tento součinitel by měl dosahovat hodnot 1 až 10. Přičemž čím více se blíží 1, tím lépe.

Součinitel pěchování K – je vyjádřen jako poměr délky obvodu odebrané třísky l ku délce třísky l_1 .

Analogicky také platí, tloušťka odřezané třísky a_1 ku tloušťce odřezané vrstvy a anebo průřez třísky S_1 ku průřezu odebírané vrstvy S .

Platí vztah:

$$K = \frac{a_1}{a} = \frac{l}{l_1} = \frac{S_1}{S} \text{ f 1}$$

$a - \text{mm}$	$S - \text{mm}^2$
$a_1 - \text{mm}$	$S_1 - \text{mm}^2$
$l - \text{mm}$	
$l_1 - \text{mm}$	$K - /$

V dnešní době, kdy dovolují nástrojové materiály užívat větší a větší řezné rychlosti je doprovodný jev velké množství odpadu – třísek.

Z tohoto důvodu se zavádí pojem *objemový součinitel třísek*.

Objemový součinitel třísky:

Tento součinitel nám pomáhá stanovit předpokládaný objem vzniklých třísek. Třísky zaujímají mnohem větší objem, než je objem odřezávaného materiálu.

Součinitel K_{VO} je vyjádřen jako podíl násypného objemu třísek V_t ku objemu plného materiálu V_m .

$$K_{VO} = \frac{V_t}{V_m} \text{ f 1}$$

$V_t - \text{dm}^3$
$V_m - \text{dm}^3$
$K_{VO} - /$

Viz. Př: poměr třísky.

1 m³ materiálu obrobena na třísky – ideální stav 6 m³ třísek
- horší stav až 280 m³ třísek

Objemový součinitel třísky se využívá pro určování zubových mezer řezných nástrojů.

[1.], [2.], [3.], [4.], [5.]

1.3 Teplo a teplota při obrábění, mazání a chlazení

„Téměř veškerý výkon obrábění se přemění na teplo“

Do procesu musí vstoupit energie. Téměř veškerá energie se přemění na teplo. Při této přeměně se zvýší teplota třísky, obrobku, obráběcího nástroje a řezného prostředí.

Je známo:

Při zvyšování řezné rychlosti nejvíce tepla odvádí tříska. Tohoto důsledku se využívá u obrábění řeznou keramikou vysokými rychlostmi. Tříska odchází rozžhavena a povrch obrobku je zahřát jen minimálně.

platí vztah:

$$P = F_c \cdot v_c \cong Q$$

P – řezný výkon [W]

Q – teplo [J]

v_c – řezná rychlost [m/s]

F_c – řezná síla [N]

Hlavní zdroje tepla jsou oblasti plastické deformace:

- Q_{pe} oblast primární plastické deformace
- Q_γ tření mezi čelem nástroje a třísky
- Q_α tření hřbetu nástroje a přechodové plochy

Odvod tepla v obráběcím procesu probíhá ve 4 směrech. Viz Obr. 2.31.

Q_t – teplo odvedené třískou – největší podíl, výhodné při vysokorychlostním obrábění

Q_n – teplo odvedené nástrojem – určitá část tepla vstoupí do nástroje, dojde k zahřívání nástroje. Pojem *tepelná vodivost materiálu* nám charakterizuje a určuje, jak nástrojový materiál vede teplo.

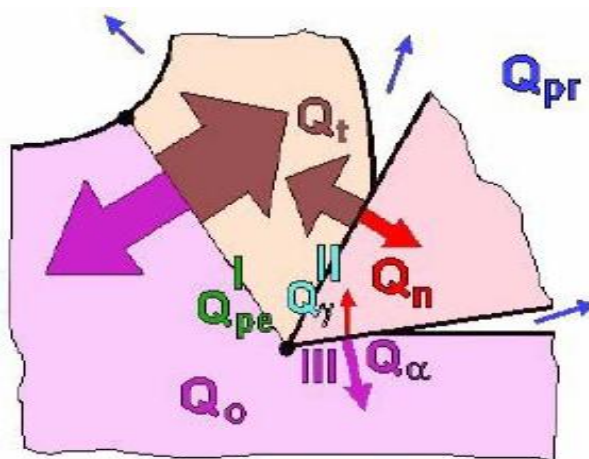
Př.: keramické povlaky – keramika je dobrý izolant a zabrání prostupu tepla dále do nástroje

Q_o – teplo odvedené materiálem – obrobkem. Opět zde závisí na *tepelné vodivosti materiálu*, která nám určuje, jak obráběný materiál vede teplo. Nutno ale dát pozor při dokončovacích operacích na *tepelnou roztažnost*. Může dojít ke změně tolerancí rozměrů.

Q_{pr} – teplo odvedené vnějším prostředím. Teplo které odejde do okolí.

přitom platí:

$$Q = Q_t + Q_n + Q_o + Q_{pr}$$



Obr. 2.31, [5.]

Teplota řezání závisí na:

V velikosti řezných sil, třecích procesech obrobku a nástroje, kontaktu třísky a nástroje.

Měří se pomocí složitých měřicích systémů – př.: termokamera spojená s PC.

Teplo ovlivňuje:

Vlastnosti nástroje, mechanické mastnosti obráběného materiálu, způsob obrábění materiálu.

Mazání a chlazení:

Teplotu lze snížit chlazením a mazáním. Tímto se udržuje teplota řezného klínu, aby nepřekročila povolenou hranici, při které by mohlo dojít ke ztrátě řezivosti a zároveň k opotřebení nástroje.

Účel:

Snižuje tření, zmenší řezný odpor a dosahujeme lepší jakosti obrobené plochy.

Platí:

Při obrábění nízkými řeznými rychlostmi je maximální teplota na špičce nože.

Při obrábění vysokými řeznými rychlostmi je maximální teplota mimo ostří.

[1.], [2.], [3.], [5.]

1.4 Síly a výkon při soustružení

Síly:

Pro soustružení je zapotřebí sil.

Výsledná řezná síla v [N] se při obecném řezání skládá z 3 složek:

- řezná síla F_c
- posunová síla F_f
- pasivní síla F_p

Řezná síla F_c :

Působí ve směru řezné rychlosti v_c kolmo na osu rotace. Tato síla je největší. Na celkovém příkonu obrábění se podílí velice významně, asi 99%.

Posunová síla F_f :

Síla působí ve směru posuvu rovnoběžně s osou rotace. Většinou dosahuje (40 – 50)% velikosti řezné síly. Podíl na celkovém příkonu je velice malý. Vyplyvá to ze srovnání velikostí posuvové rychlosti a řezné rychlosti.

Pasivní síla F_p :

Síla působí ve směru kolmém na řeznou sílu F_c . Její velikost je asi 25% řezné síly. Působí ve směru nejmenší tuhosti soustavy, což nám ovlivňuje:

- chvění a vibrace při obrábění – tyto vibrace se zvyšují se snižující se tuhostí soustavy
- přesnost obrobené plochy – u tenkých obrobků může vlivem působení této síly dojít k prohnutí obrobku, tudíž k nepřesnému obrábění.

Vztah mezi jednotlivými složkami a výslednou řeznou silou je:

kde:

$F = [\text{N}]$

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2}$$

Výkon elektromotoru stroje:

Potřebný výkon stroje je dán vztahem:

kde:

P_c – potřebný výkon elektromotoru stroje [W]

F_c – výsledná řezná síla [N]

v_c – řezná rychlost [m/s]

η – účinnost stroje [/]

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{h}$$

Další důležitou definovanou veličinou je *měrná řezná síla*:

Měrná řezná síla představuje řeznou sílu na jednotku plochy řezu.

Je definována vztahem:

kde:

k_c – měrná řezná síla [MPa]

F_c – výsledná řezná síla [N]

S – plocha řezu – průřez odřezávané vrstvy [mm²]

$$k_c = \frac{F_c}{S}$$

Měrná řezná síla závisí na velikosti posuvu, hloubce řezu, ale také na obráběném materiálu, řezné rychlosti a úhlem řezu.

Při soustružení se používají mnohdy rozdílné velikosti posuvů, řezných rychlostí a různé hloubky řezu. Tímto jsou i odlišné měrné řezné síly.

Platí:

Čím přesnější soustružení, tím menší tloušťky řezu a tím větší měrná řezná síla.

[1.], [3.], [5.]

1.5 Trvanlivost břítu a mechanismy opotřebení

Při soustružení dochází k opotřebovávání nástroje. Opotřebení je výsledek všech součástí, které jsou ve vzájemném pohybu a kontaktu. Jakmile dosáhne opotřebení určité hodnoty, je nutno nástroje, nebo řeznou destičku vyměnit.

Z tohoto vyplývá, že existuje pojem *optimální velikost opotřebení*.

Optimální velikost opotřebení:

- U práce na čisto je optimální velikost opotřebení stanovena na hranici, kdy již není břit schopen zajistit požadovanou kvalitu obráběného povrchu.
- Při hrubování je optimální velikost opotřebení stanovena s ohledem na co největší životnost nástroje.

Důležité jsou pojmy, jako je:

Trvanlivost nástroje – je to doba (čas) v minutách, kdy vydrží nástroj pracovat za daných podmínek od naostření do otupení na předepsanou hodnotu.

Životnost nástroje – násobek trvanlivosti, dle toho kolik má nástroj břitů a kolikrát ho mohou naostřit, nebo doba od uvedení do činnosti po vyřazení.

Při soustružení dochází ke vzájemnému pohybu mezi:

- ⇒ nástroj – obrobek
- ⇒ nástroj – tříska

Ke kontaktu, mezi nástrojem a obrobkem dochází na hlavním a vedlejším hřbetě nástroje a na špičce nástroje.

Kontakt, mezi nástrojem a třískou probíhá na čele nástroje.

Proces opotřebení závisí především na: Fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu, řezných podmínkách, druhu operace, geometrii nástroje.

Mechanismy opotřebení:

1) - Otěr:

Abrazivní otěr:

Je to v podstatě obrušování měkčích částic materiálu nástroje tvrdšími částicemi materiálu obrobku.

Je významný především při obrábění nižšími řeznými rychlostmi. Při těchto rychlostech dochází ke kontaktu nástroje a obrobku na vrcholcích mikronerovností.

Při vysokých řezných rychlostech je na spodní straně třísky vlivem vysokých teplot materiál v plastickém stavu. Tato vrstva zabraňuje větším abrazivním úběrům.

Adhezní otěr:

Při obrábění měkkých materiálů se materiál obrobku nalepuje na nástroj. Tvoří takzvaný nárůstek. Při překročení meze pevnosti se nárůstek ulomí a vytrhává s sebou částice břitu nástroje. Adhezní otěr je významný při nižších rychlostech, kdy je možno adhezního spojení obou materiálů.

Difuzní otěr:

Dochází k němu především při dosažení určitých teplot při obrábění. Potřebných teplot docílíme nástroji z SK, keramiky a diamantu. Podstatou je přestup hmoty nástroje do materiálu obrobku v důsledku difuze.

2) – Plastická deformace:

Dochází k ní ve všech nástrojových materiálech. Důležitá je zde limitní teplota každého materiálu. Při překročení této limitní teploty na stykových plochách, dojde k výraznému snížení tvrdosti nástrojového materiálu. Důsledkem toho je nástroj rychle opotřebováván obrobkem.

3) – Křehký lom:

Příčinou mohou být termomechanického charakteru. Kolísání teplot a zatěžování řeznými silami vede k vydrolování materiálu a následnému lomu. Dále mohou být příčinou nehomogenita, vměstky v materiálu obrobku a také přerušovaný řez.

Časová závislost opotřebení:

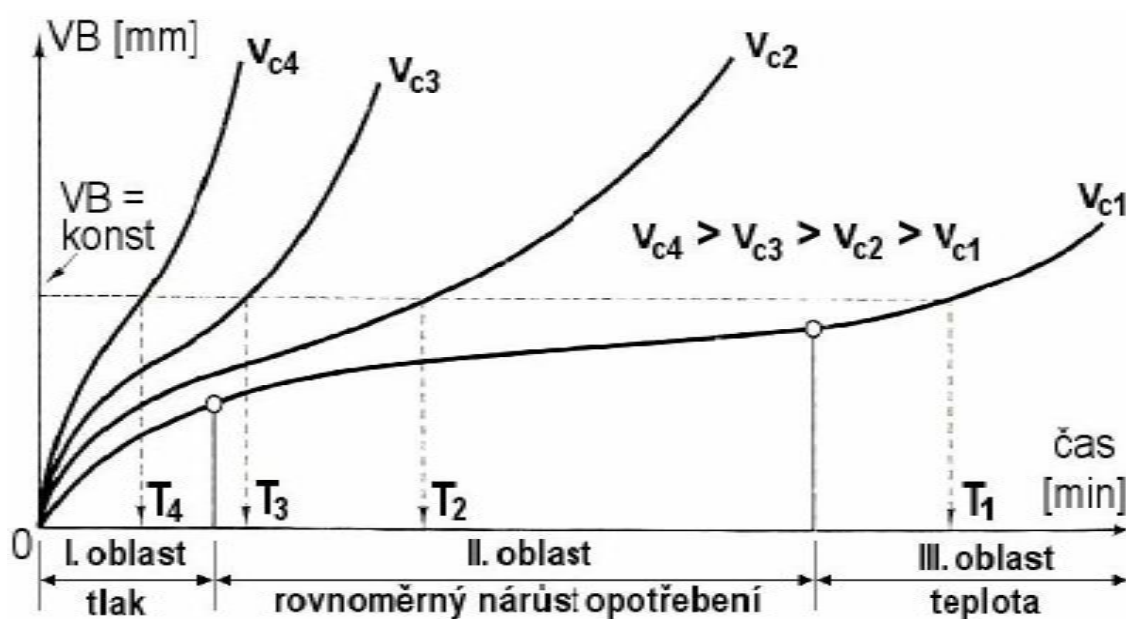
Jsme schopni spočítat, jak dlouho bude nástroj do opotřebení pracovat.

Časový průběh opotřebení se zaznamenává do systému opotřebení – čas.

Průběh se skládá ze 3 částí:

- I. – rychlý nárůst opotřebení vlivem vysokých tlaků
- II. – rovnoměrný růst opotřebení – působí základní mechanismy opotřebení
- III. – výrazné zvýšení opotřebení – důsledkem nakumulovaného zatížení

Typický časový průběh opotřebení: obr. 2.51



Obr. 2.51, [5.]

Platí:

S rostoucí řeznou rychlostí v_c klesá měrný řezný odpor, ale i trvanlivost nástroje.

[1.], [3.], [5.]

2. Problematika obrábění těžkoobrobitelných materiálů

Existuje několik dělení těžkoobrobitelných materiálů a to dle, chemického složení, obrobitelnosti, vlastností materiálu a jeho struktury.

Zabývat se budu pouze skupinou, do které spadá můj materiál.

Materiál: 19 436, kaleno a popouštěno, tvrdost 58 HRc.

Dle ST: Vysokolegovaná chromová ocel. Je vhodná ke kalení jak v oleji, tak na vzduchu. Velká prokalitelnost, odolnost proti opotřebení a nižší houževnatost.

Složení: 2% C a 12% Cr.

Použití: Nástroje na stříhání za studena, nástroje pro tváření za tepla, řezné nástroje a formy. (dle strojnických tabulek)

Vysokolegované chromové oceli obsahují od 7%, ale i přes 13% Cr. Tudíž to jsou oceli těžkoobrobitelné – korozivzdorné a žáruvzdorné. Oceli feritické, poloferitické a kalitelné.

Oceli kalitelné, jak se vysokolegované chromové oceli dělí, jsou významné vysokým obsahem chromu Cr a uhlíku C. Toto složení způsobuje, jak u kalení v oleji, tak na vzduchu vznik bainitické struktury.

Oceli kalitelné, vyložené s bainitickou strukturou, je možno obrábět pouze broušením.

Chromové oceli v žíhaném stavu mají feritickou strukturu a liší se pouze množstvím podvojných karbidů chromu a železa.

Ferit je struktura měkká a houževnatá. Měkkost způsobuje tvoření nárůstku, tudíž zhoršení povrchu. Houževnatost zase zvýší řezné síly na břitu nástroje.

Karbidy chromu a železa způsobí zvýšené abrazivní opotřebení nástroje.

Při obrábění těžkoobrobitelných materiálů vystupuje nutnost všeobecných požadavků:

K obrábění materiálů s vysokou pevností a tvrdostí je zapotřebí přizpůsobit strojový park, používané nástroje, přípravky a v neposlední řadě řezné kapaliny.

Využíváme stroje s vyšším výkonem, seřízené, dokonalé tuhosti a tudíž i větších rozměrů a s minimálními vůlemi pohyblivých částí. U těchto materiálů je také nutné co nejvíce omezit ruční posuvy.

Obrábění probíhá v soustavě, stroj – nástroj – obrobek. Z tohoto hlediska je kladen největší požadavek na celkovou tuhost soustavy. Velké nároky jsou kladeny především na upnutí obrobku a ustavení nástroje. Je-li tuhost malá, vznikají nežádoucí vibrace a chvění, které

působí na obrobek. To vše se projeví na přesnosti geometrie, úchylek a tvaru obrobku, ale také ovlivní životnost nástroje.

Přípustné opotřebení břitů, při obrábění těžkoobrobitelných ocelí, se volí přibližně poloviční, než u obrábění klasické konstrukční oceli.

[1.], [3.], [4.]

2.1 Řezné nástroje

Řezné nástroje dělíme dle: velikosti, druhu, geometrie břitu a nástrojového materiálu.

Velikost nástroje: je dána především předpokládaným zatížením, jak mechanickým, tak tepelným. Závisí na řezných podmínkách, na obrobitelnosti materiálu.

Druh nástroje: závisí na způsobu obrábění, (soustružení, frézování, vrtání atd.), ale také na charakteru obráběné plochy (ubírací nůž, zapichovací, válcová fréza, drážkovací, atd.).

Nároky při obrábění těžkoobrobitelných materiálů:

Vysoké teploty řezání a značné řezné síly při soustružení těžkoobrobitelných materiálů kladou na řezné nástroje značné podmínky.

Nástroj musí být dostatečně tuhý a pevný, aby bylo znemožněno chvění a vibrace nástroje. Vznikající teplo klade důraz na průřez nože. Platí, že čím větší průřez nože, tím lepší a rychlejší odvod tepla.

[4.], [5.]

2.2 Geometrie břitu nástroje

Každý nástroj se skládá z upínací a řezní části.

Pro obrábění je velice důležitý tvar břitu (řezné části) a jeho geometrie. Ovlivňuje nám totiž velikosti řezných sil, přesnost obrábění, trvanlivost nástroje a také kvalitu povrchu.

Nástroje se dělí: - nástroje s definovanou geometrií břitu (soustružnický nůž)

- nástroj s nedefinovanou geometrií břitu (brusný kotouč)

Soustružnický nůž spadá do kategorie s definovatelnou geometrií břitu. Proto je možno soustružnický nůž popsat úhly.

Úhel je definován velikostí a rovinou.

Části nástroje: viz obrázek 3.21

Nástroj se skládá, jak je již zmíněno, z řezné části a upínací části.

Upínací část, (1) – neboli stopka, je část, sloužící k upnutí nástroje do stroje.

Ustavovací část, (2) – je to součást upínací části, která slouží k ustavení nástroje při výrobě, kontrole ale i měření a ostření.

Řezná část, (3) – je to funkční část nástroje. Stará se o odebírání třísky.

Břit – součást řezné části. Tvořen průnikem čela A_γ a hřbetu A_α .

Plochy nástroje:

Hřbet nástroje A_α - plocha nástroje, která je přikloněna k přechodové ploše tvoří hlavní ostří S , nebo k obrobené ploše obrobku, tvoří vedlejší ostří S' .

Čelo nástroje A_γ - plocha, po které odchází třísky.

Utvařec třísky – část čelní plochy určená k lámání, nebo tvarování třísky. (vylišován nebo přiložen).

Ostří nástroje:

Ostří – prvek řezné části, kterým se realizuje vlastní proces řezání.

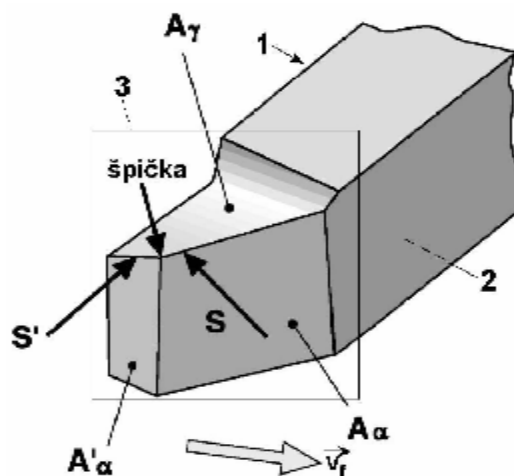
Hlavní ostří S – vytváří přechodovou plochu na obrobku.

Vedlejší ostří S' - neuvádí přechodovou plochu. Pouze dokončovací práce na obrobené ploše.

Špička nástroje:

Špička – je to část ostří, kterou tvoří spojnice hlavního a vedlejšího ostří.

možno: přímá, sražení, zaoblená



Obr. 3.21, [5.]

[1.], [3.], [4.], [5.]

2.3 Nástrojová a pracovní soustava

Abychom nástroj a jeho úhly dokonale popsaly – užíváme 2 soustavy rovin.

Soustavy:

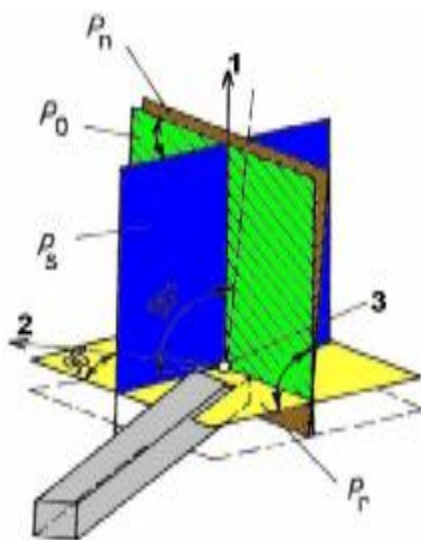
- nástrojová – statické pojetí nože, použití při konstrukci, výrobě, ostření a kontrole
- pracovní – užívá se při pracovní poloze nástroje, vymezuje vzájemnou polohu bříty vůči obrobku

Nástrojová soustava: viz obrázky 3.31 a 3.32

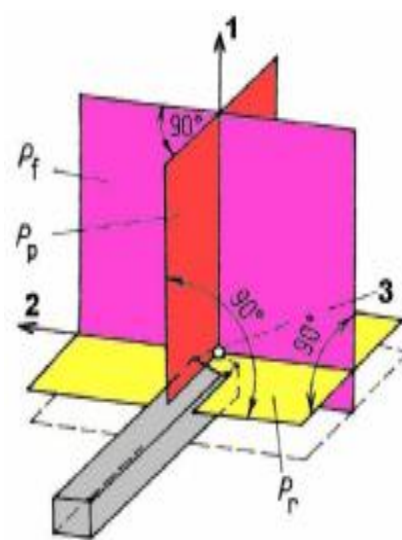
Zde je statické pojetí nože. Vycházíme z předpokládaného směru hlavního pohybu a posuvu během obrábění. Pro určení geometrie se používá soustava pomocných rovin.

Předpoklady:

- 1 – směr vektoru hlavního řezného pohybu
- 2 – směr posuvového pohybu
- 3 – uvažovaný bod ostří



Obr. 3.31, [5.]



Obr. 3.32, [5.]

Roviny:

Základní rovina P_r

– nástrojová rovina základní prochází uvažovaným bodem ostří a je kolmá na uvažovaný vektor hlavního řezného pohybu.

Boční rovina P_f

- nástrojová rovina boční je kolmá na základní rovinu, má směr uvažovaného posuvu a prochází uvažovaným bodem ostří.

Zadní rovina P_p

- nástrojová rovina zadní jde uvažovaným bodem ostří a je kolmá na rovinu boční i na rovinu základní.

Rovina ostří P_s

- nástrojová rovina ostří je kolmá na základní rovinu, je tečná na ostří a prochází uvažovaným bodem ostří.

Rovina ortogonální P_o

- nástrojová rovina ortogonální jde uvažovaným bodem ostří a je kolmá na rovinu základní i na rovinu ostří.

Rovina normálová P_n

- nástrojová rovina normálová jde uvažovaným bodem ostří a je kolmá na ostří. Jako jediná není kolmá na rovinu základní, pouze když $I_s = 0$

Nástrojové úhly: příklad obr 3.33

Nástrojové úhly ovlivňují:

Velikost řezných sil, teplotu řezání, tvorbu třísky, hospodárnost obrábění, strukturu povrchu, vlastnosti povrchové vrstvy.

V olbu úhlů ovlivňují:

Fyzikální a mechanické vlastnosti obrobku, řezné parametry, požadovaná struktura povrchu, požadované vlastnosti obrobené vrstvy.

Úhly polohy ostří:

C_r, C_r' - úhly nastavení hlavního a vedlejšího ostří ($45^\circ - 90^\circ$)

ovlivní: - C_r tvar třísky

- C_r' strukturu povrchu

Čím je úhel nastavení hlavního ostří menší, tím větší je trvanlivost nástroje, ale také řezné síly. Vyvolává chvění.

I_s - úhel sklonu hlavního ostří (od -6° do $+6^\circ$ včetně 0°)

ovlivní: - tuhost bříty, zatížení špičky, směr odchodu třísky (+ od obrobku, - k obrobku)

r_e - poloměr zaoblení špičky (0,2mm až 5mm)

ovlivní: - čím větší poloměr špičky – tím větší posuv, ovlivní strukturu povrchu

Úhly řezného klínu:

a - úhel hřbetu (8° až 12° , přičemž nesmí být záporné)

ovlivní: - tření na hřbetě – mezi obrobkem a nástrojem

- tuhost bříty

Úhel hřbetu výrazně ovlivňuje tření mezi nástrojem a obrobkem. Čím je úhel menší, tím je větší úhel řezného klínu, a tudíž je i větší jeho pevnost. Na druhou stranu se zvětší tření mezi nástrojem a obrobkem a dojde ke zvětšení řezného odporu.

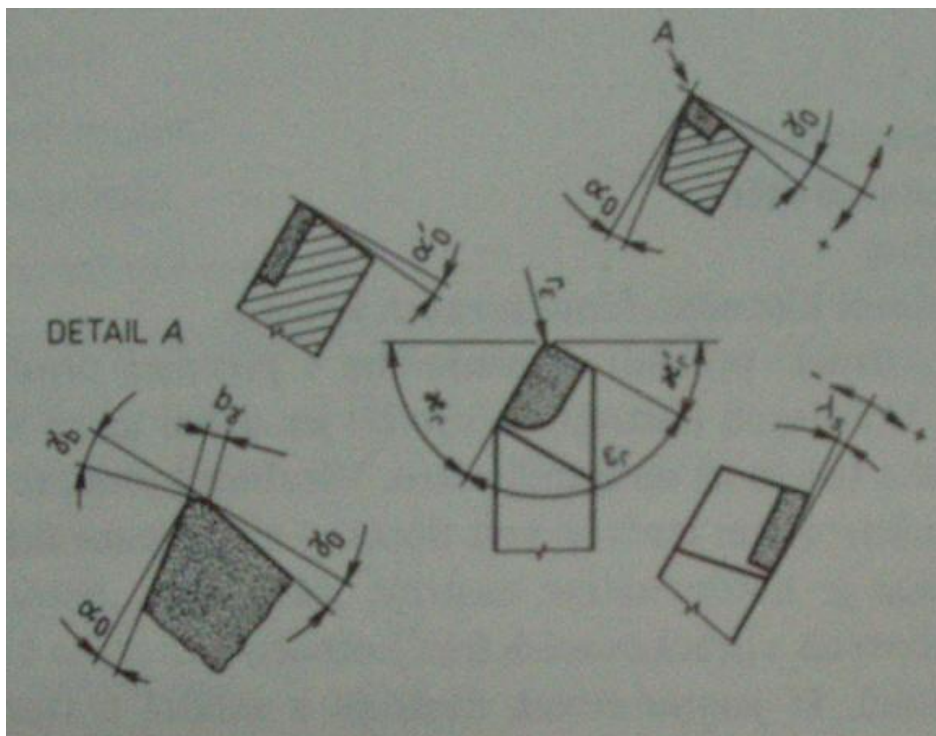
g - úhel čela (od -8° do $+8^\circ$)

ovlivní: - mechanismus tvorby třísky

- řezné síly, tuhost bříty

Při menších úhlech g , se zvětšují řezné síly, zvětšuje se tření mezi třískou a plochou čela, ale také roste intenzita plastických deformací v odřezávané vrstvě.

Naopak se zvětšováním úhlu čela se zmenšuje úhel řezného klínu, je zde sice menší tření, ale i menší pevnost a horší odvod tepla.



Obr. 3.33 – nástrojové úhly, [4.]

[3.], [4.], [5.]

Pracovní soustava:

U pracovní soustavy se uvažuje pracovní geometrie břitu. Přičemž vycházíme z výsledného hlavního pohybu a posuvu.

Pracovní úhly se mohou od nástrojových lišit. Rozdíly jsou dány pracovní polohou břitu nástroje vůči obrobku.

Stejně určení, aby se úhly odlišili od nástrojových úhlů, jsou doplněny indexem e.

[3.], [4.], [5.]

2.4 Nástrojové materiály

Vyrábí se z nich pracovní části řezných nástrojů.

Požadavky na mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti řezných materiálů neustále rostou a proto je snaha neustále zdokonalovat nástrojové materiály.

Základní vlastnosti a požadavky jsou:

- tvrdost nástrojového materiálu musí být větší než tvrdost obráběného materiálu (tvrdost sebou nese zároveň i křehkost, což je nevhodná vlastnost)
- snaha materiálu udržet si tvrdost a další vlastnosti i při vysokých teplotách dostatečně dlouhou dobu.
- dostatečná houževnatost, což je požadavek na vhodnou tvrdost, ale zároveň i dostatečnou ohybovou pevnost, tvrdost = křehkost

Čím déle si materiál udržuje tyto vlastnosti i při vyšších teplotách, je kvalitnější a má lepší řezivost.

Žádný materiál nemá všechny požadované vlastnosti, proto je nutno přistoupit k určitým kompromisům.

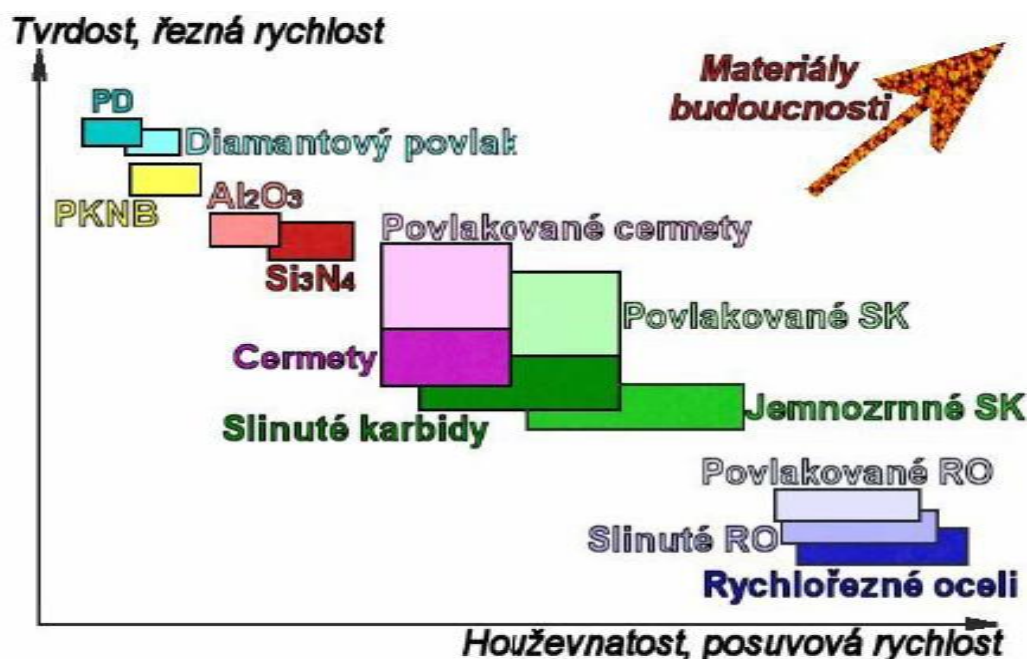
Při obrábění těžkoobrobitelných materiálů jsou tyto nároky ještě větší. Materiály musí splňovat vysoké nároky na pevnost, tuhost, dobrou ořezuvzdornost za vysokých tlaků a teplot, zvýšená schopnost odvádět teplo, houževnatost a odolnost proti teplotním a mechanickým rázům. Tyto vlastnosti by si měl materiál držet i při vysokých teplotách.

Nástrojové materiály se obecně dělí:

- nástrojové oceli
- slinuté karbidy
- cermety
- řezná keramika
- supertvrdé materiály
 - KBN – kubický bór nitrid
 - Diamant

Každý nástrojový materiál má svá specifika a určení, pro kterou operaci je vhodný. Má doporučené řezné podmínky a materiál, který je jím možno řezat. Toto udává oblast použití.

Viz obrázek 3.41



Obr. 3.41 – oblasti použití nástrojových materiálů, [5.]

Nástrojové oceli:

Jsou to oceli třídy 19. – ušlechtilé oceli.

Především pro nástroje na stříhání, dělení, obrábění a tváření jak za tepla, tak za studena.

Dnes se zkouší metody výroby nástrojových ocelí práškovou metalurgií.

Dělí se na oceli: - uhlíkové

- slitinové

- rychlořezné

- uhlíkové oceli nástrojové:

Zakalením dosáhnou tvrdosti až 62-64 HRC, tuto tvrdost si drží až do teploty 250°C.

Užití především pro ruční nástroje jako jsou kladiva, kleště, pilníky, listy do ručních pil atd.

Tento nástrojový materiál pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů je nevhodný.

- slitinové oceli nástrojové:

Vyšší pevnost i tvrdost za tepla. Udrží si vlastnosti do 350°C. Legující prvky (Cr, Mo, Mg, V, W), nikdy jich nebude více než 1%.

Jde z nich vybrousit velice jemný břit. Užití pro výrobu závitníku, závitových čelistí, měřidla, kalibry, pilové listy atd. Nevhodné pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů.

- rychlořezné oceli nástrojové:

Tvrdost 70 HRC a tyto vlastnosti si udrží, až do teploty 600°C. Mají dobrou pevnost v ohybu.

Užití především pro namáhané nástroje. Vhodné pro obrábění s rázy nebo přerušovaným řezem, ale i pro hoblovací nože, pilové listy atd.

Slinuté karbidy:

Materiály vyráběné práškovou metalurgií. Snaha skloubit tvrdost a houževnatost. Jsou to karbidy kovů spojených pojivem. Zde jsou užity karbidy titanu a wolframu a pojivo kobalt. Karbidy se zde starají o tvrdost a pojivo zde ovlivňuje houževnatost.

Snesou teploty do 700-1000°C. Do této teploty si zachovávají svou tvrdost přibližně 90 HRA a vysokou odolnost proti otěru. Dnešní nástroje tvoří z 76% právě slinuté karbidy. Dobře odolávají vysokým tlakům, ale mají nižší ohybovou pevnost – houževnatost.

Díky těmto schopnostem jsou schopny obrábět zakalenou ocel i jiné velmi tvrdé materiály.

Zlepšení vlastností dosáhneme povlakováním SK. Možnost povlakování TiC, nebo TiN.

Dosažení delší životnosti nástroje, snížení koeficientu tření na čele, zvýšení tvrdosti povrchu při zachování houževnatosti jádra a zamezení vzniku nárůstků.

Povlakované destičky se používají jako vyměnitelné. Užívají se pro obrábění běžných ocelí vysokými řeznými rychlostmi.

Dělení do skupin: P, M, K, N, S, H

P – vhodné pro obrábění uhlíkových ocelí, dlouhá tříska, velké síly při obrábění, vysoká teplota.

M – universální, vhodné pro střední a delší třísku a větších sil. Legované oceli, lité oceli.

K – pro krátkou, drobivou třísku a malé řezné síly, litiny.

N – k obrábění neželezných kovů, jako je hliník a jeho slitiny.

S – pro těžce obrobitelné slitiny, titan atd.

H – pro kalené a vysoce tvrdé oceli.

Značení slinutých karbidů: písmeno a číslo, př.: P50, čím větší číslo, tím větší houževnatost a nižší odolnost proti otěru.

Cermety:

Snaha spojit pevnost a tvrdost keramiky s houževnatostí kovu.

Užití při dokončovacích operacích, vyšší řezné rychlosti a nízký posuv. Nízká hmotnost je jedna z jejich charakteristických vlastností.

Řezná keramika:

Založeno na bázi krystalických materiálů se složkami nekovového charakteru.

Vyznačují se vysokou tvrdostí až 93 HRA, ale také navíc vysokou odolností proti otěru do 1200°C. Nevýhodou je malá pevnost v ohybu.

Dělení:

- na bázi oxidu hlinitého:

Čistá: - Al_2O_3 užití pro běžné soustružení.

Směsná: - Al_2O_3 + další oxidy – užití pro dokončovací operace a běžné soustružení a vrtání. Přidané oxidy zvyšují houževnatost.

Vyztužená: - Al_2O_3 + TiC – přidány karbidy, užití pro hrubování, dokončování ale i přerušované řezy.

- na bázi nitridu křemíku: - Si_3N_4 – hrubé soustružení, přerušované řezy.

Parametry řezné keramiky mohou výrazně zvýšit řezné rychlosti.

Při obrábění keramikou se nesmí chladit. Keramika je křehká a došlo by k jejímu prasknutí.

Supertvrdé materiály:

Tyto materiály snáší velmi vysoké teploty, mají vysokou tvrdost a otěruvzdornost.

Kubický nitrid boru: KBN

Užití na obrábění tvrdých ocelí nad 50 HRc, jako jsou legované litiny, kalené oceli atd.

Výhodou je velmi vysoká životnost. Při soustružení KBN je dosahováno vysoké jakosti obrobené plochy. Jeho tvrdost se přibližuje tvrdosti přírodního diamantu. Výborné vlastnosti si udržuje až do teploty 1500°C. Jeho velkou výhodou je chemická netečnost především k železu.

Z chemické stránky je možno obrábět železo i jeho slitiny. To u diamantu není možno. Proto se používá především tam, kde není možno užít PKD.

Platí, že čím tvrdší obráběný materiál, tím větší životnost nástroje.

Polykrystalický diamant: PKD

Diamant je podle tabulky tvrdosti nejtvrdší materiál. Totéž platí i o umělém diamantu.

Za vyšších teplot má chemickou afinitu k železu. Z toho vyplývá, že diamantem není možno obrábět železo. Užívá se především k obrábění a dokončování neželezných kovů, keramiky a porcelánu. Dále se využívá k výrobě brusných kotoučů, lapovacích past, honování a ovrhávání brusných kotoučů.

[1.], [3.], [4.], [5.]

3. Návrh řezných podmínek pro konkrétní součást

3.1 Obecné předpoklady

Řezné podmínky tvoří veličiny, jimiž jsou:

- Řezná rychlost v_c – obvodová rychlost na povrchu součásti, nebo nástroje [m/min]
- posuv s – pohyb nástroje do záběru [mm/ot]
- hloubka řezu ap – tloušťka odebírané vrstvy [mm]

K obrábění těžkoobrobitelných materiálů je zapotřebí určitých předpokladů.

Obecně lze říci, že k obrábění těžkoobrobitelných materiálů dáváme přednost nástrojům se slinutým karbidem.

Samozřejmě lze i užít jiné materiály jako jsou kubický nitrid boru nebo rychlořezná ocel.

Nástroje z rychlořezných ocelí lze také použít, ale pouze v omezených podmínkách. Především pro obrábění omezenou rychlostí, nebo menší tuhostí upnutí. Také záleží na určité operaci, jako je zapichování, upichování. Rychlořezné materiály používáme tam, kde je omezeno použití nože se slinutým karbidem.

Dalším z předpokladů je optimální geometrie nástroje. Nezáleží pouze na obráběném materiálu, ale také na charakteru práce, obrábění. Jiná geometrie se užívá pro hrubování, práci na čisto a jiná také při dokončovacích operacích.

Řezné podmínky, řezná rychlost, posuv a hloubka řezu závisí především na druhu, tvaru a tuhosti obrobku, na materiálu, druhu, tvaru a tuhosti upnutí soustružnického nože, dále také na tuhosti a výkonu stroje, na charakteru práce, ale také na požadované drsnosti a vlastnostech povrchu obrobku.

Existují tabulky, ve kterých jsou všeobecně předepsány řezné podmínky pro určitý nástroj, druh obrobku, ale také i charakter práce. Tabulky jsou navrženy s ohledem na hospodárnost a efektivní využití nástroje.

[4.], [5.]

3.2 Popis měření

Podmínky pro experimentování:

Veškeré zázemí mi poskytla firma Urdiamant s.r.o.

Stoj: CNC soustruh, Masturn 70 CNC

Předmět: lisovací objímka, již obrobená na nevyhovující průměr. Tudíž nevhodná pro výrobu.

Výchozí rozměr: $\varnothing d = 128\text{mm}$ a $\varnothing D = 173$

Materiál objímky: ocel 19 436, kalena a popouštěna na 58 HRc.

Nástroj: Vyměnitelná břitová destička čtvercová, dodala firma BONAR a.s

Označení: SNMN 120418 T, foto v příloze, Obr.: 3.21 a obr.:3.22

Materiál břitové destičky: KBN – kubický nitrid boru

Použitá měřidla: posuvné měřítko, PC mikroskop DINO AM 313, drsnoměr

Návrh experimentu:

K dispozici jsem dostal soustruh, materiál, nástroj a měřicí přístroje.

Podmínkou použití obrobené součásti, která se používá jako lisovací nástroj, je především její drsnost na funkčních plochách.

Z tohoto důvodu jsem si za hlavní parametr zvolil drsnost.

Kalenou objímku jsem obráběl různými řeznými rychlostmi a po každé odřezané vrstvě jsem měřil dosaženou drsnost na obrobené ploše. Sledoval jsem závislost drsnosti na různých řezných podmínkách.

Drsnost i řezné podmínky jsem pečlivě zaznamenával.

Měřil jsem ve dvou měřeních po pěti zkouškách. Pro porovnání jsem se v každém měřeném bloku snažil zachovat přibližně stejnou tloušťku odebírané vrstvy a stejnou řeznou rychlost.

Zaznamenané údaje jsem shromáždil a zapsal do tabulek.

3.3 Konkrétní zkouška

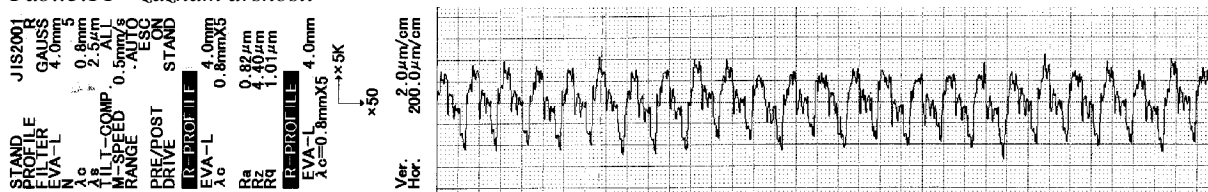
1.1)

Kalenou objímku jsem upnul do sklíčidla soustruhu. Ustavil jsem nástroj do nožové hlavy a s pomocí obsluhy jsem nastavil dráhu nože. Soustružena byla vždy vnitřní válcová plocha. Poprvé bylo soustruženo z $\varnothing 128\text{mm}$. Drsnoměrem jsem změřil drsnost a zapsal. Řezné parametry a dosažené výsledky jsou v tabulce Tab.:3.1., záznam drsnosti v Tab.:3.11. Foto odřezané třísky viz Obr.:3.11 a Obr.:3.12.

Tab.:3.1 – řezné parametry a výsledky

číslo měření	řezné podmínky	jednotky a značení	naměřené hodnoty
1,1	<i>Posuv</i>	s [mm/ot]	0,15
	<i>Hloubka řezu</i>	ap [mm]	0,5
	<i>Otáčky</i>	n [ot/min]	380
	<i>Řezná rychlost</i>	vc [m/min]	152,8
	<i>Dosažená drsnost</i>	Ra [µm]	0,82
		Rz [µm]	4,4

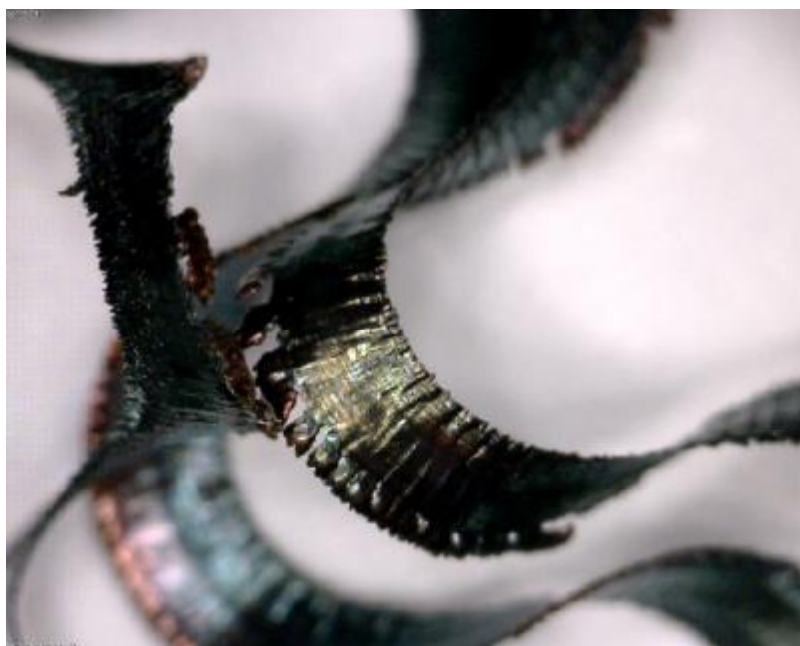
Tab.:3.11 – záznam drsnosti



Dosažená drsnost činila: $R_a = 0,82 \mu m$ a $R_z = 4,40 \mu m$



Obr.:3.11 – foto třísky, zvětšeno 50x



Obr.:3.12 – foto třísky, zvětšeno 200x

1.2)

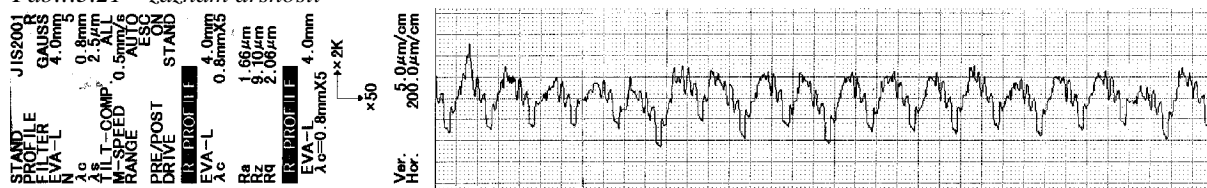
Soustruženo z Ø 129 mm. Řezné parametry a dosažené výsledky v tabulce Tab.:3.2.

Záznam drsnosti viz Tab.:3.21

Tab.:3.2 – řezné parametry a výsledky

číslo měření	řezné podmínky	jednotky a značení	naměřené hodnoty
1,2	<i>Posuv</i>	s [mm/ot]	0,2
	<i>Hloubka řezu</i>	ap [mm]	0,5
	<i>Otáčky</i>	n [ot/min]	375
	<i>Řezná rychlost</i>	vc [m/min]	151,9
	<i>Dosažená drsnost</i>	R_a [μm]	1,66
		R_z [μm]	9,1

Tab.:3.21 – záznam drsnosti



Dosažená drsnost činila: $R_a = 1,66 \mu m$, $R_z = 9,10 \mu m$

1.3)

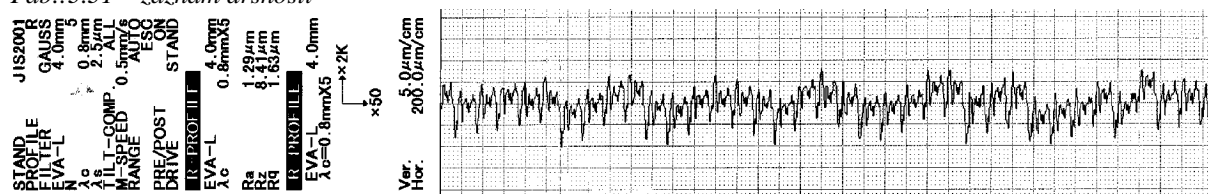
Soustruženo z Ø 130 mm. Řezné parametry a dosažené výsledky v tabulce Tab.:3.3.

Záznam drsnosti viz Tab.:3.31.

Tab.:3.3 – řezné parametry a výsledky

číslo měření	řezné podmínky	jednotky a značení	naměřené hodnoty
1,3	Posuv	s [mm/ot]	0,1
	Hloubka řezu	ap [mm]	0,5
	Otáčky	n [ot/min]	370
	Řezná rychlost	vc [m/min]	151,1
	Dosažená drsnost	R _a [μm]	1,29
		R _z [μm]	8,41

Tab.:3.31 – záznam drsnosti

Dosažená drsnost činila: R_a = 1,29 μm, R_z = 8,41 μm

1.4)

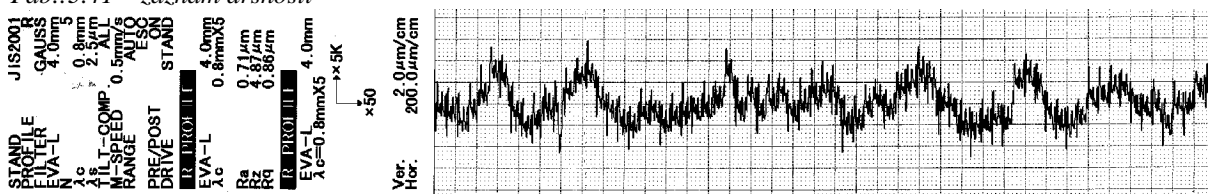
Soustruženo z Ø 131 mm. Řezné parametry a dosažené výsledky v tabulce Tab.:3.4.

Záznam drsnosti viz Tab.:3.41. Foto odebrané třísky viz Obr.:3.41 a Obr.:3.42.

Tab.:3.4 – řezné parametry a výsledky

číslo měření	řezné podmínky	jednotky a značení	naměřené hodnoty
1,4	Posuv	s [mm/ot]	0,05
	Hloubka řezu	ap [mm]	0,5
	Otáčky	n [ot/min]	370
	Řezná rychlost	vc [m/min]	152,2
	Dosažená drsnost	R _a [μm]	0,71
		R _z [μm]	4,87

Tab.:3.41 – záznam drsnosti

Dosažená drsnost činila: R_a = 0,71 μm, R_z = 4,87 μm



Obr.:3.41- foto třísky, zvětšeno 50x



Obr.:3.42 - foto třísky, zvětšeno 200x

1.5)

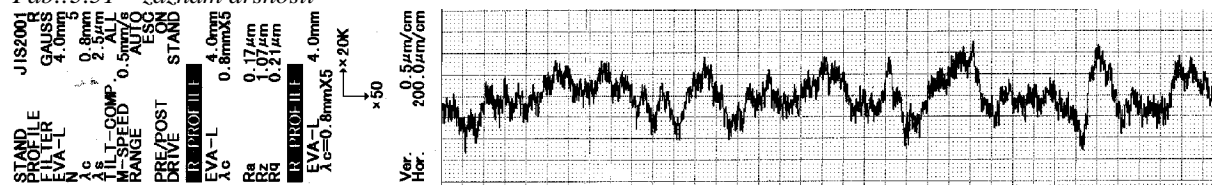
Soustruženo z $\varnothing 132$ mm. Řezné parametry a dosažené výsledky v tabulce Tab.:3.5.

Záznam drsnosti viz Tab.:3.51.

Tab.:3.5 - řezné parametry a výsledky

číslo měření	řezné podmínky	jednotky a značení	naměřené hodnoty
1,5	Posuv	s [mm/ot]	0,01
	Hloubka řezu	ap [mm]	0,5
	Otáčky	n [ot/min]	365
	Řezná rychlost	vc [m/min]	151,36
	Dosažená drsnost	Ra [μm]	0,17
		Rz [μm]	1,07

Tab.:3.51 – záznam drsnosti

Dosažená drsnost činila: $R_a = 0,17 \mu\text{m}$, $R_z = 1,07 \mu\text{m}$

Při tomto měření destička zničená. Fotografie zničené destičky viz Obr.:3.51.



Obr.:3.51 – fotografie zničené destičky, zvětšeno 60x

2.1)

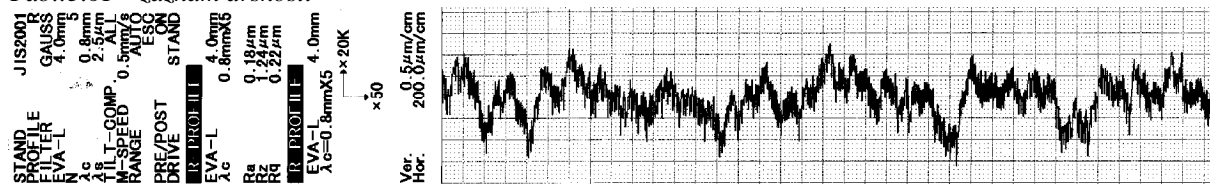
Soustruženo z Ø 133 mm. Řezné parametry a dosažené výsledky v tabulce Tab.:3.6.

Záznam drsnosti viz Tab.:3.61. Foto povrchu z mikroskopu viz Obr.:3.61.

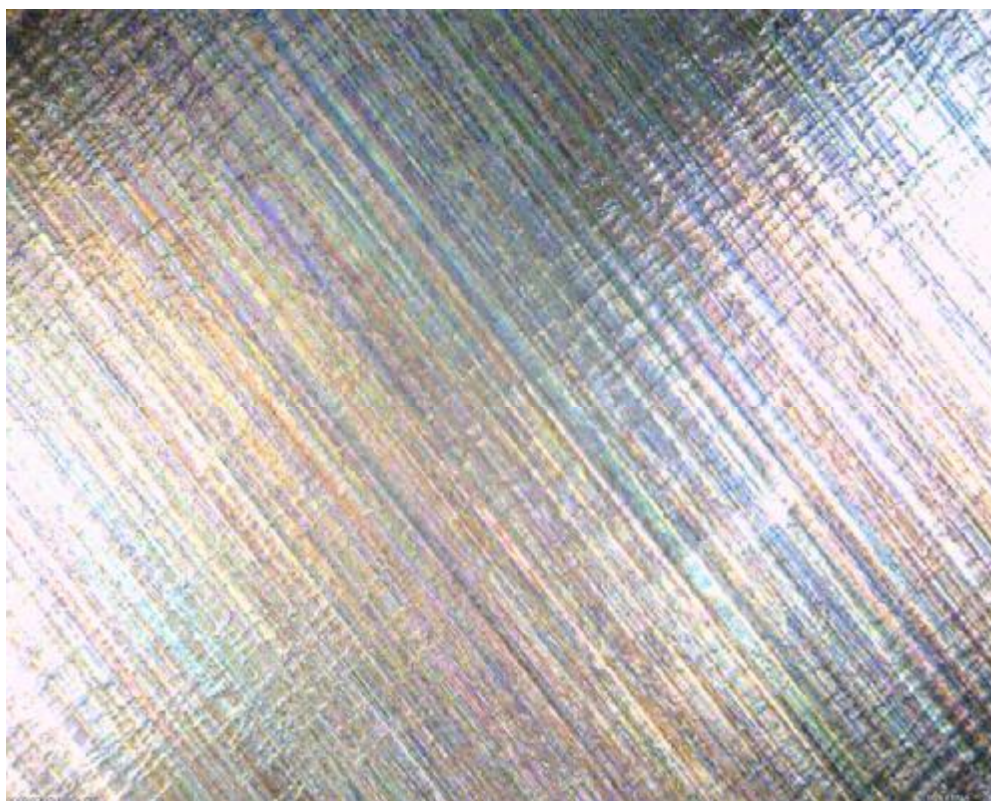
Tab.:3.6 - řezné parametry a výsledky

<i>číslo měření</i>	<i>řezné podmínky</i>	<i>jednotky a značení</i>	<i>naměřené hodnoty</i>
2,1	<i>Posuv</i>	s [mm/ot]	0,01
	<i>Hloubka řezu</i>	ap [mm]	0,25
	<i>Otáčky</i>	n [ot/min]	240
	<i>Řezná rychlost</i>	vc [m/min]	100
	<i>Dosažená drsnost</i>	R_a [μm]	0,18
		R_z [μm]	1,24

Tab.:3.61 – záznam drsnosti



Dosažená drsnost činila: $R_a = 0,18 \mu\text{m}$, $R_z = 1,24 \mu\text{m}$



Obr.:3.61 – fotografie obrobeného povrchu, zvětšeno 55x

2.2)

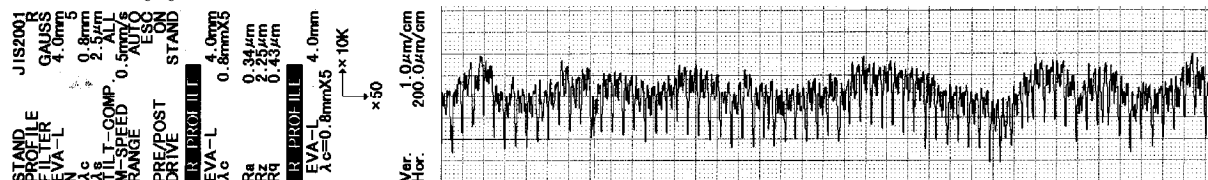
Soustruženo z Ø 133,5 mm. Řezné parametry a dosažené výsledky v tabulce Tab.:3.7.

Záznam drsnosti viz Tab.:3.71.

Tab.:3.7 - řezné parametry a výsledky

<i>číslo měření</i>	<i>řezné podmínky</i>	<i>jednotky a značení</i>	<i>naměřené hodnoty</i>
2,2	<i>Posuv</i>	s [mm/ot]	0,05
	<i>Hloubka řezu</i>	ap [mm]	0,5
	<i>Otáčky</i>	n [ot/min]	240
	<i>Řezná rychlost</i>	vc [m/min]	100,6
	<i>Dosažená drsnost</i>	R_a [μm]	0,34
		R_z [μm]	2,25

Tab.:3.71 – záznam drsnosti



Dosažená drsnost činila: $R_a = 0,34 \mu m$, $R_z = 2,25 \mu m$

2.3)

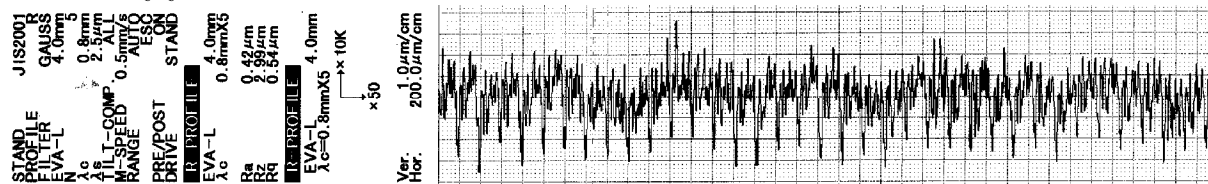
Soustruženo z Ø 134,5 mm. Řezné parametry a dosažené výsledky v tabulce Tab.:3.8.

Záznam drsnosti viz Tab.:3.81.

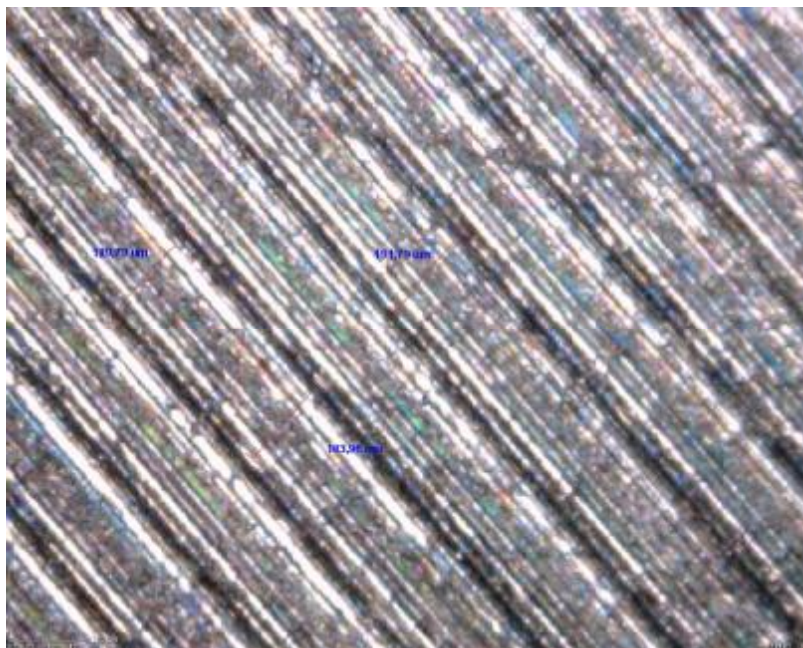
Tab.:3.8 - řezné parametry a výsledky

číslo měření	řezné podmínky	jednotky a značení	naměřené hodnoty
2,3	<i>Posuv</i>	s [mm/ot]	0,1
	<i>Hloubka řezu</i>	ap [mm]	0,5
	<i>Otáčky</i>	n [ot/min]	240
	<i>Řezná rychlost</i>	vc [m/min]	101,4
	<i>Dosažená drsnost</i>	R_a [µm]	0,42
		R_z [µm]	2,99

Tab.:3.81 – záznam drsnosti



Dosažená drsnost činila: $R_a = 0,42 \mu\text{m}$, $R_z = 2,99 \mu\text{m}$



Obr.:3.101 – fotografie obrobeneho povrchu, zvětšeno 229x

3.1)

Soustruženo z $\varnothing 137,5$ mm. Řezné parametry a dosažené výsledky v tabulce Tab.:3.111.

Tab.:3.111 - řezné parametry a výsledky

číslo měření	řezné podmínky	jednotky a značení	naměřené hodnoty
3,1	Posuv	s [mm/ot]	0,01
	Hloubka řezu	ap [mm]	0,5
	Otáčky	n [ot/min]	465
	Řezná rychlost	vc [m/min]	200
	Dosažená drsnost	Ra [μm]	nenaměřeno
		Rz [μm]	nenaměřeno

Zde došlo k poškození břitové destičky, která zničila povrch. Z tohoto důvodu jsem drsnost neměřil.

Foto zničené destičky, viz

Obr.: 3.111.

Zbylé foto destičky v příloze.

Obr.:3.112.

Toto měření provedeno pouze jako zajímavost.



Obr.: 3.111 – foto zničené destičky, zvětšeno 59x

4. Vyhodnocení experimentů:

Při vyhodnocování experimentů jsem vycházel především z výrobního výkresu součásti, co je hlavní prioritou pro technology.

Z hlediska dalšího využití objímky, lisování, je snaha dosáhnout požadované drsnosti na funkčních plochách.

Dříve se objímky soustružily na soustruhu, kde se docílilo jen určité drsnosti a na požadovanou drsnost $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ se musely funkční plochy ještě brousit. Dříve se nedařilo dosáhnout soustružením požadované drsnosti.

Mě se podařilo s pomocí obsluhy, vhodného nástrojového materiálu, určitého stroje a zkoušením různých řezných podmínek dané drsnosti docílit soustružením.

Za hlavní parametry, podle kterých jsem seřídil a zaznamenával jsem volil R_a a R_z .

R_a – střední aritmetická úchylka povrchu od střední čáry profilu [μm]

R_z – maximální výška nerovnosti [μm]

Následně jsem ještě porovnal zapsané řezné podmínky s optimálními řeznými podmínkami destičky, které udává výrobce, firma *Bonar a.s.*

4.1 Dosažená drsnost:

- Rozsahy drsností, ve kterých jsem se pohyboval v 1. měření:

Během prvního měření jsem se snažil v pěti zkouškách dodržet řeznou rychlost vc okolo 151m/min a hloubku řezu $ap = 0,5 \text{ mm}$.

Během každé zkoušky jsem měnil pouze posuv s a to v rozsahu od 0,01 do 0,2 mm/ot.

Rozsahy naměřených drsností, rozsah R_a viz tab.: 1.1, rozsah R_z viz tab.: 1.2.

Tab.:1.1

1. měření rozptyl R_a [μm]	
od	do
0,17	1,66

Tab.: 1.2

1. měření rozptyl R_z [μm]	
od	do
1,07	9,1

Nejlepšího výsledku 1. měření s ohledem na drsnost bylo dosaženo:

5. zkouška:

Zde byla drsnost $R_a = 0,17 \mu\text{m}$ a drsnost $R_z = 1,07 \mu\text{m}$.

Porovnáním dosaženého výsledku s praktickou řadou drsností dle tab.:1.3 je soustružením dosaženo drsnosti jako jemné broušení.

Tab.:1.3 – praktická řada drsností, uvedeno v [μm], [12.]

0,012 - 0,025	0,05 - 0,1	0,2 - 0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5 - 25	50	100
lapování	honování superfinišování	jemné broušení	broušení vystružování	jemné soustružení	jemné frézování	vrtání	soustružení a frézování na hrubo	hoblování	polotovary výkovky odlitky

Při této zkoušce byla destička po vyjetí z řezu již dále nepoužitelná, proto tyto řezné podmínky nejsou vhodné.

4. zkouška:

Zde byla dosažena drsnost $R_a = 0,71 \mu\text{m}$ a k tomu drsnost $R_z = 4,87 \mu\text{m}$.

Když zde porovnáme parametr R_a s praktickou řadou drsností, hodnota stále odpovídá běžnému broušení. Drsnost by zde byla stále dostačující.

Během ostatních zkoušek v 1. měření jsem dosahoval výsledků, které odpovídali běžnému broušení a jemnému soustružení.

- Rozsahy drsností, ve kterých jsem se pohyboval v 2. měření:

Během druhého měření jsem opět v pěti zkouškách držel řeznou rychlost v_c okolo 100m/min a hloubku řezu $ap = 0,5$ až na jednu výjimku, kde bylo $ap = 0,25$ mm.

Během jednotlivých zkoušek jsem opět měnil pouze posuv a to opět v rozsahu od 0,01 do 0,2 mm/ot.

Rozsahy naměřených drsností R_a viz tab.: 2.1, rozsah R_z viz tab.: 2.2.

Tab.: 2.1

2. měření, rozsah R_a [μm]	
<i>od</i>	<i>do</i>
0,18	1,86

Tab.: 2.2

2. měření, rozsah R_z [μm]	
<i>od</i>	<i>do</i>
1,24	7,19

Nejlepšího výsledku během 2. měření jsem docítil:

1. zkouška:

Během první zkoušky v druhém měření byla dosažena drsnost $R_a = 0,18 \mu\text{m}$ a drsnost $R_z = 1,24 \mu\text{m}$.

Porovnáním výsledku s tabulkou 1.3 zjistíme, že této drsnosti dosahujeme jemným broušením.

2. zkouška:

Zde bylo během měření dosaženo drsností $R_a = 0,34 \mu\text{m}$ a $R_z = 2,25 \mu\text{m}$. S porovnáním s tabulkou praktické řady drsností jsme dosáhli soustružením drsnosti, které běžně dosahujeme jemným broušením.

3. zkouška:

Při této zkoušce jsem naměřil $R_a = 0,42 \mu\text{m}$ a k tomu drsnost $R_z = 2,99 \mu\text{m}$. Při porovnání s tabulkou 1.3 by ještě mohla drsnost spadat do operace jemného broušení.

Zkouškami 4. a 5. jsem dosahoval drsností, které odpovídali stále broušení a jemnému soustružení.

Pro 3. měření nebyla drsnost ani měřena z důvodu zničení destičky během řezu. Povrch zničen.

[12.]

4.2 Řezné podmínky:

Vzhledem k tomu, že při obrábění jsem s pomocí obsluhy nastavoval řezné podmínky náhodně, rád bych nyní moje zaznamenané řezné podmínky porovnal s řeznými podmínkami, které doporučuje výrobce použité břitové destičky.

Firma *BONAR a.s.*, která se zabývá výrobou použitých břitových destiček, dodává k destičkám doporučené řezné údaje pro použití břitových destiček.

Vyhledal jsem si dle označení břitové destičky vhodné řezné parametry, které udává výrobce za optimální, viz Tabulka 2.3.

Tab.:2.3, [11.]

Doporučené řezné podmínky pro břitové destičky z CBN.				
Obráb. materiál	způsob obrábění	v_c [m/min]	a_p [mm]	s [mm/ot]
kalená ocel	Soustruž. /hlazení/průběžný řez	125 - 210	0,10 - 0,50	0,05 - 0,20
kalená ocel	Soustruž. /hlazení/přerušovaný řez	100 - 150	0,10 - 0,50	0,05 - 0,20
kalená ocel	Soustruž. /hrubování/průběžný řez	80 - 160	1,0 - 2,50	0,10 - 0,50
kalená ocel	Soustruž. /hrubování/přerušovaný řez	80 - 125	1,0 - 2,50	0,10 - 0,5

Při nedodržení nebo odchýlení od těchto doporučených řezných podmínek může dojít k oslabení a poškození destičky během práce. Snížení pevnosti a především její trvanlivosti a také životnosti.

Optimální – nejlepší řešení v dané chvíli a v daném prostředí. Je to především snaha skloubit optimální řezné podmínky, jako je řezná rychlost, posuv a hloubka řezu s optimální trvanlivostí nástroje.

Je možné, že mimo doporučené řezné podmínky dosáhneme vynikajících vlastností povrchu, ale obrobíme tak pár součástí a přijdeme zbytečně o drahou destičku.

Z tohoto důvodu je vhodné dodržovat optimální řezné podmínky.

Můj způsob obrábění je: soustružení/hlazení/ průběžný řez

Dle tohoto vybírám a porovnávám moje zapsané řezné podmínky s podmínkami, které udává výrobce.

- 1. Měření:

Hloubku řezu $ap = 0,5\text{mm}$ jsem zvolil na samotné horní hranici doporučených řezných podmínek. Řezná rychlost v_c byla držena okolo 151m/min . Zde jsem se dostal do rozpětí doporučených podmínek. Na stroji jsem nastavoval řezné podmínky dle uvážení a rady obsluhy a to pouze změnou otáček. Posuv s byl během každé zkoušky volen v rozsahu od $0,01$ do $0,2\text{ mm/ot}$. Hodnota $0,01\text{mm/ot}$ již sahá pod dolní rozsah doporučených parametrů.

Řezné podmínky u zkoušky 1, 2, 3 a 4 provedené během prvního měření plně vyhovují a odpovídají doporučeným řezným podmínkám, které udává výrobce. Zde by bylo soustružení hospodárné, ekonomické a destička by měla určitou trvanlivost a životnost.

5. zkouška u tohoto měření nevyhovovala doporučeným podmínkám. Zde byla moc malá hodnota posuvu $s = 0,01\text{ mm/ot}$ a na druhou stranu na tento posuv příliš vysoké otáčky a řezná rychlost $v_c = 151,36\text{ m/min}$. Tato břitová destička nevydržela a došlo k jejímu poškození.

- 2. Měření:

Hloubka řezu $ap = 0,25 - 0,5\text{ mm}$. Dle doporučených podmínek vyhovujících. Řezná rychlost v_c se pohybovala okolo 100m/min . Zde jsem se dostal pod hranici doporučených podmínek. Nastavování bylo opět realizováno dle uvážení a bez jakýchkoli tabulek. Posuv s byl během měření opět volen v rozsahu od $0,01$ do $0,2\text{ mm/ot}$. Zde opět dolní hranice mého rozsahu zasahuje pod dolní hranici doporučených podmínek.

Zde u druhého měření nevyhovuje doporučeným podmínkám ani jedna provedená zkouška. A to z důvodu nízké řezné rychlosti, kterou jsem se dostal až pod doporučené podmínky.

1. Zkouška během druhého měření nevyhovovala doporučeným podmínkám nejen nízkou řeznou rychlostí, ale také ještě nízkou hodnotou posuvu. Zde byl zadán posuv $s = 0,01$ mm/ot, hloubka řezu $ap = 0,25$ mm a řezná rychlost $v_c = 100$ m/min.

Z důvodu snahy dodržet doporučené řezné podmínky udávané výrobcem, bych nedoporučoval dále touto destičkou, tímto způsobem a za takových podmínek obrábět, natož zahájit výrobu.

Obrábění by bylo neekonomické.

- 3. Měření:

Z důvodu pouze již jedné dobré řezné hrany na destičce uvedeno pouze jako zajímavost.

Zde byl posuv nastaven na $s = 0,01$ mm/ot, hloubka řezu $ap = 0,5$ mm a řezná rychlost $v_c = 200$ m/min.

Destička byla během řezu zničena. Důvod: příliš malý posuv a oproti tomu vysoká řezná rychlost a poměrně velká hloubka řezu. Z hlediska doporučených podmínek opět nevyhovující hodnota posuvu.

[3.], [11.]

4.3 Závislosti:

K výběru vhodných řezných podmínek pro výrobu jsem kladl důraz na, doporučené řezné podmínky a na dosaženou drsnost povrchu.

Proto porovnávám parametry, drsnost a řezné podmínky, s doporučenými hodnotami a předepsanou drsností.

1. měření:

Zadaným podmínkám zcela vyhovuje zkouška 4.

Řezné podmínky u této zkoušky zcela vyhovují doporučeným podmínkám od výrobce. Navíc dosažená drsnost splněna dle požadavku na výrobním výkresu. Posuv je na nejnižší dovolené hranici. Řezná rychlost je v daném rozmezí. Hloubka řezu je maximální možná a dosažená drsnost je dostačující.

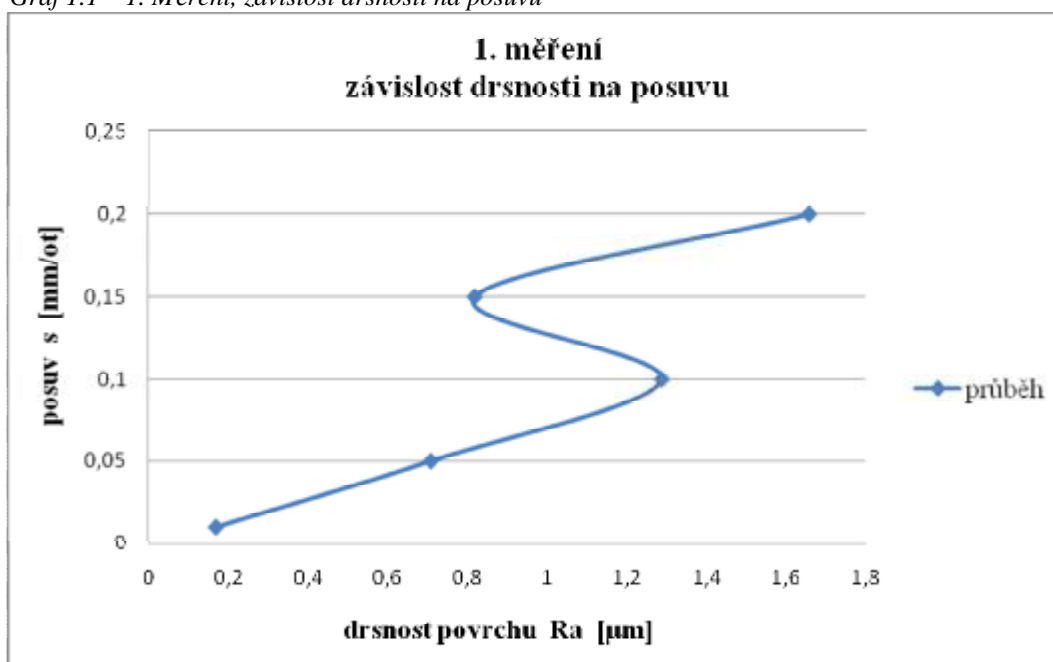
2. měření:

Z pěti zkoušek během druhého měření nevyhovuje daným podmínkám ani jedna. Z hlediska dosažených drsností jsou výsledky p řekvapivé, naopak ze strany dodržení doporučených řezných podmínek, jsou podmínky nevhodné.

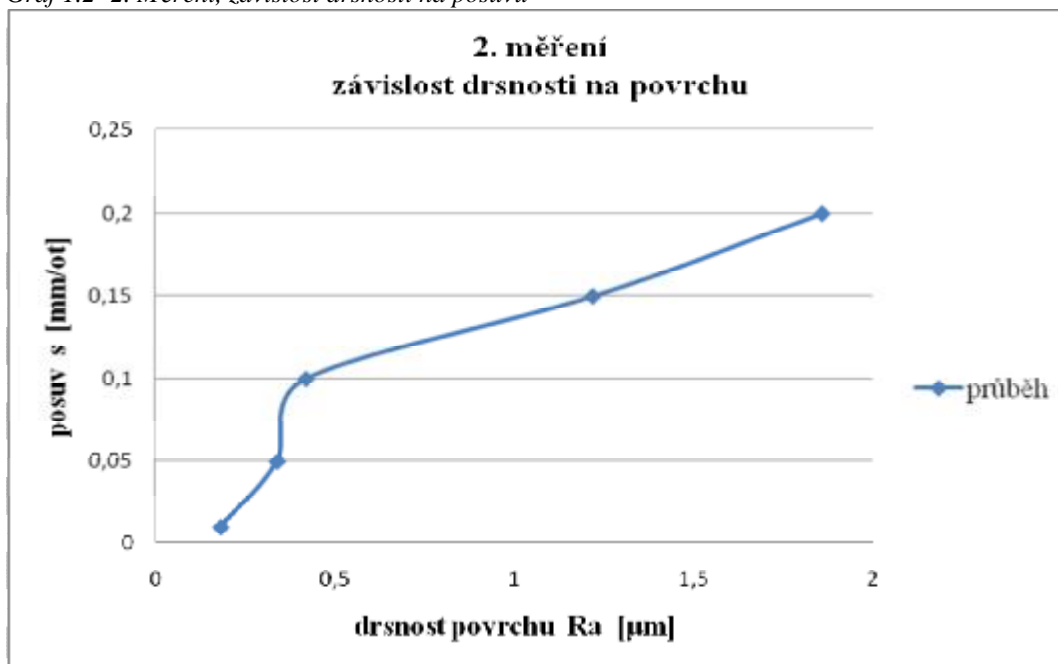
Z tohoto důvodu bych zapsané řezné podmínky během druhého měření nepoužíval a dále bych se touto cestou neubíral. Zde by bylo soustružení neekonomické a nevhodné.

Následně je vyobrazena závislost drsnosti na posuvu u prvního měření viz graf 1.1. a druhé měření viz graf 1.2.

Graf 1.1 – 1. Měření, závislost drsnosti na posuvu



Graf 1.2- 2. Měření, závislost drsnosti na posuvu



Z těchto grafů vyplývá, že s rostoucím posuvem se zvětšuje i drsnost povrchu. Čím menší posuv, tím opět lepší drsnost povrchu. Musíme brát ale také ohled na břitovou destičku. U zkoušek, kde jsem nastavil posuv menší než $s = 0,05 \text{ mm/ot}$, již nevyhovoval doporučeným řezným podmínkám. Když posuv snížím pod doporučené hodnoty s cílem dosáhnout lepší drsnosti povrchu, destička to již nemusí vydržet a obrábění již nebude hospodárné a ekonomické. Snížím trvanlivost a životnost nástroje a následně jej zničím úplně. Dále na drsnost povrchu má vliv i poloměr zaoblení špičky břitové destičky.

Z hlediska optimálních podmínek by se měli volit větší hodnoty posuvu a větší hloubky řezu. Rostoucí posuv nám zkrátí čas více, než rostoucí řezná rychlost.

Toto měření nebude zcela objektivní, a to z důvodu že jsem bral ohled pouze na drsnost a dodržení vhodných řezných podmínek. Nebral jsem ohled na čas, opomněl jsem tepelnou roztažnost materiálů, a tudíž jsem nekontroloval dodržení požadovaných tolerancí. Při obrábění nízkými posuvy a s velkou hloubkou řezu bude určitě problém tepelná roztažnost. Ke zkoušce jsem měl k dispozici pouze jednu břitovou destičku, tudíž 8 řezných hran. Na vyšetření těchto problémů a na objektivitu řešení by bylo potřeba více pokusů a v neposlední řadě více břitových destiček.

[3.]

5 Technicko – ekonomické zhodnocení:

Cílem mé práce nebylo navrhnout, nebo vymyslet novou technologii výroby, ale najít optimální řezné podmínky k výrobě dané součásti soustružením.

Dříve se daná součást vyráběla soustružením a požadované drsnosti se následně docílilo broušením. Pomocí dnešních technologií, výkonných strojů, dnešních nástrojových materiálů a v neposlední řadě i obsluhy se mi podařilo tuto součást vyrobit s požadovanou drsností pouze soustružením.

Kombinací různých řezných podmínek, jako je posuv a řezná rychlost se mi podařilo dosáhnout požadovaných drsností povrchu, kterých se běžně dosahuje broušením. Při porovnávání s doporučenými řeznými podmínkami udávanými výrobcem jsem zjistil, že některými parametry jsem se odchýlil od doporučených parametrů a některými jsem v daném rozmezí.

Porovnáváním jsem zjistil, že nejlepších výsledků jsem docílil 4. zkouškou u prvního měření. Po vyhodnocení bych jako vhodné řezné podmínky volil stejné, jako právě u této zkoušky, viz tabulka 3.4.

Tab.:3.4 - řezné parametry a výsledky

číslo měření	řezné podmínky	jednotky a značení	naměřené hodnoty
1,4	<i>Posuv</i>	s [mm/ot]	0,05
	<i>Hloubka řezu</i>	ap [mm]	0,5
	<i>Otáčky</i>	n [ot/min]	370
	<i>Řezná rychlost</i>	vc [m/min]	152,2
	<i>Dosažená drsnost</i>	Ra [μm]	0,71
		Rz [μm]	4,87

Tyto řezné podmínky odpovídají doporučeným řezným parametrům uvádějící výrobcem. Z tohoto hlediska by mělo být soustružení hospodárné, ekonomické a destička by měla mít zaručenou minimální trvanlivost a životnost. Po dostatečném ozkoušení by bylo možné vypustit operaci broušení a tím zkrátit výrobní časy.

Seznam použité literatury

- [1.] Mádl Jan a kolektiv: *Technologie obrábění 1.díl*, ČVUT Praha 1987
- [2.] Houdek Josef, Kouřil Karel: *Opotřebení břitu nástrojů ze slinutých karbidů* [online]. c2004,[cit. 2009-8-2]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/opotrebeni-britu-nastroju-ze-slinutych-karbidu>
- [3.] Straka Jakub: *Sešit – Technologie II. – poznámky*,
- [4.] Miroslav Mikovec: *Obrábění materiálu s velkou pevností a tvrdostí*, SNTL Praha 1982
- [5.] Robert Čep: *Přednášky z předmětu technologie II.*, Dostupné z: http://home.vsb.cz/robert.cep/tech_II.htm<http://www.bonar-as.cz>
- [6.] Vasilko, K., Novák-Marcinčin, J., Havrila, M. *Výrobné inžinierstvo. [I] Prešov: Datapress Prešov, 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.*
- [7.] Neslušan, M., Turek, S., Brychta, J., Čep, R., Tabaček, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní. [I] Žilina: EDIS Žilina, 2007, 343 s. ISBN 978-80-8070-7118.*
- [8.] Brychta, J., Havrila, M., Jurko, J., Zajac, J. *Top trendy v obrábaní, I. část – Obrábané materiály. Žilina: Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006, 193 s. ISBN 80-968954-2-7.*
- [9.] Zajac, J., Jurko, J., Čep, R. *Top trendy v obrábaní, II. část – Nástrojové materiály. [I] Žilina: Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006, 193 s. ISBN 80-968954-2-7.*
- [10.] Vasilko, K., Havrila, M., Marcinčin-Novák, J., Mádl, J., Zajac, J. *Top trendy v obrábaní, III. část – Technologie obrábaní. [I] Žilina: Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006, 214 s. ISBN 80-968954-2-7.*
- [11.] Bonar as: *BONAR* [online]. c2003, [cit. 2009-30-4]. Dostupné z: <http://www.bonar-as.cz>
- [12.] Hubal Vladimír: *Měření drsnosti porchu* [online]. c2003, [cit. 2009-30-4]. Dostupné z: http://mujweb.cz/www/hvladimir/ak/AK7_mereni_drsnosti_povrchu.html

Přílohy:

Fotografie obrobené objímky.

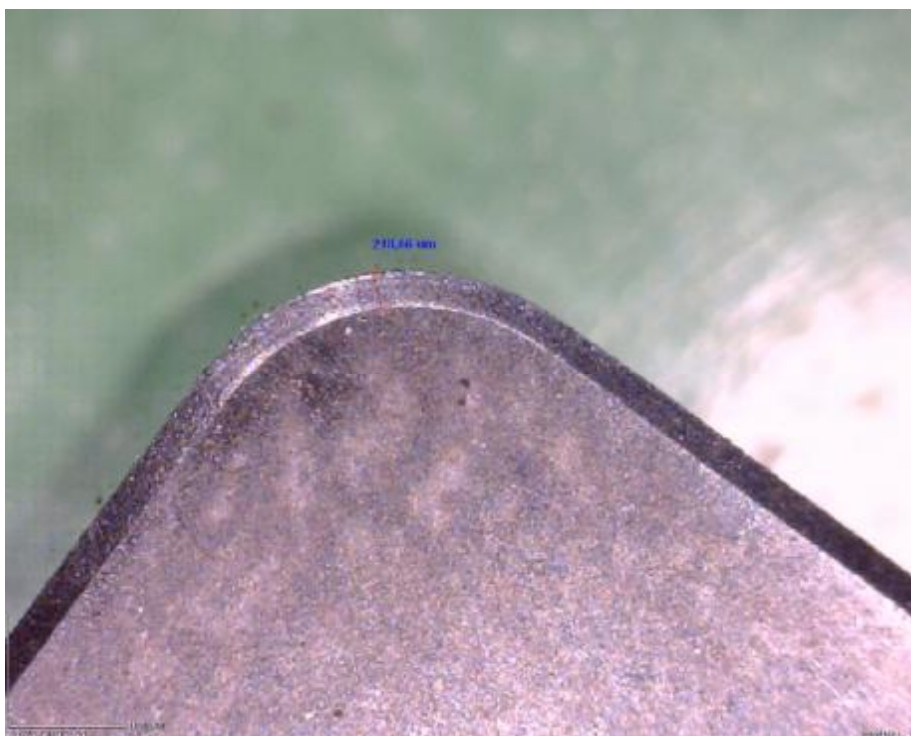


Obr.: 1.1 – fotografie hotové objímky



Obr.: 1.2- foto hotové objímky

Fotografie břitové destičky:

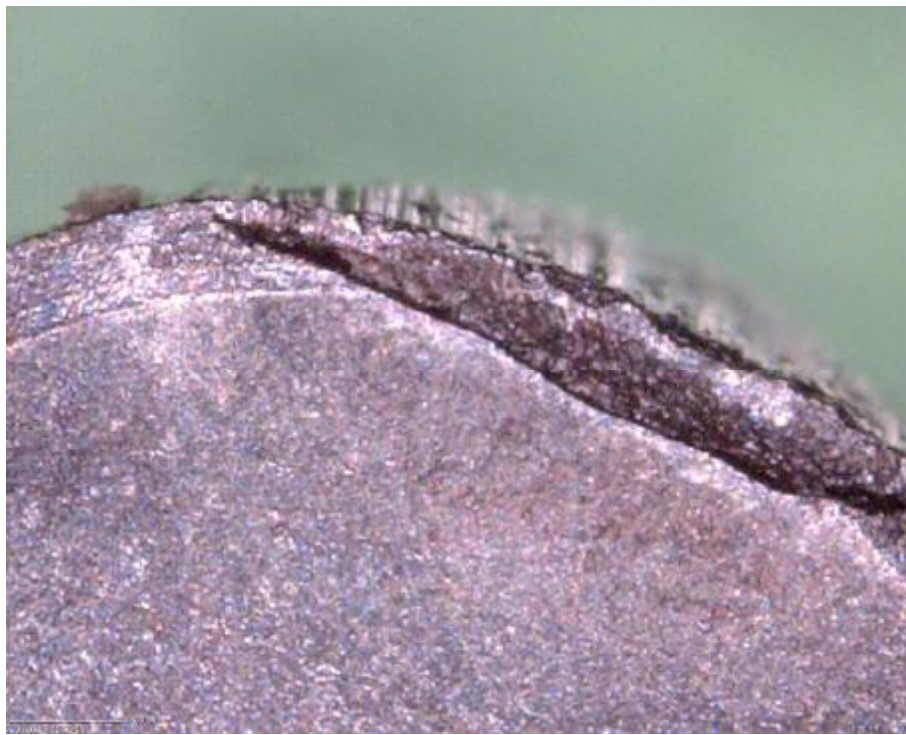


Obr.:3.21 – foto břitové destičky, zvětšeno 59x



Obr.:3.22 – foto břitové destičky, zvětšeno 214x

Zničená břitová destička při 3 měření:



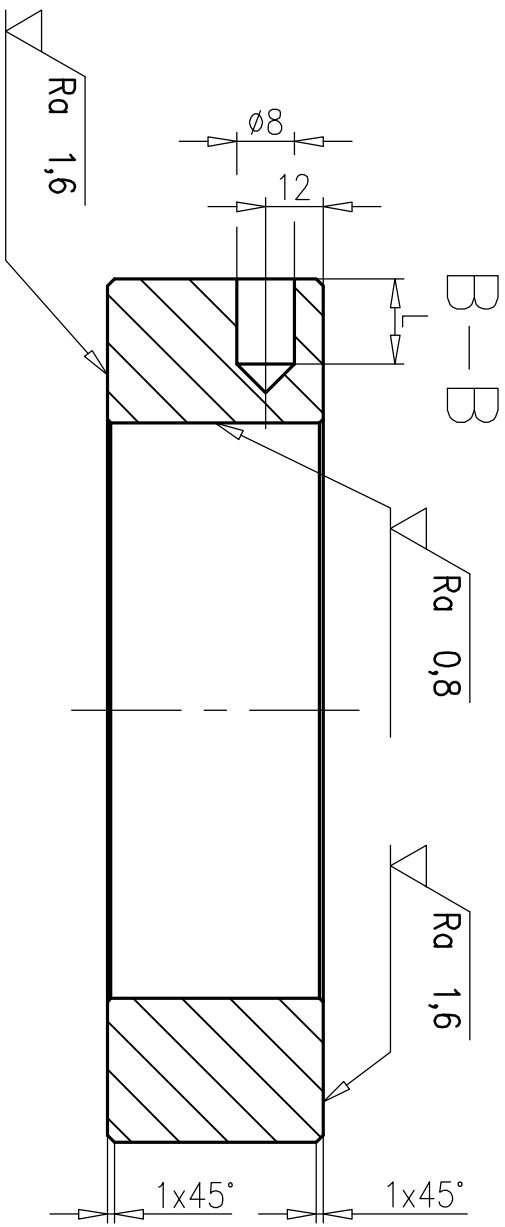
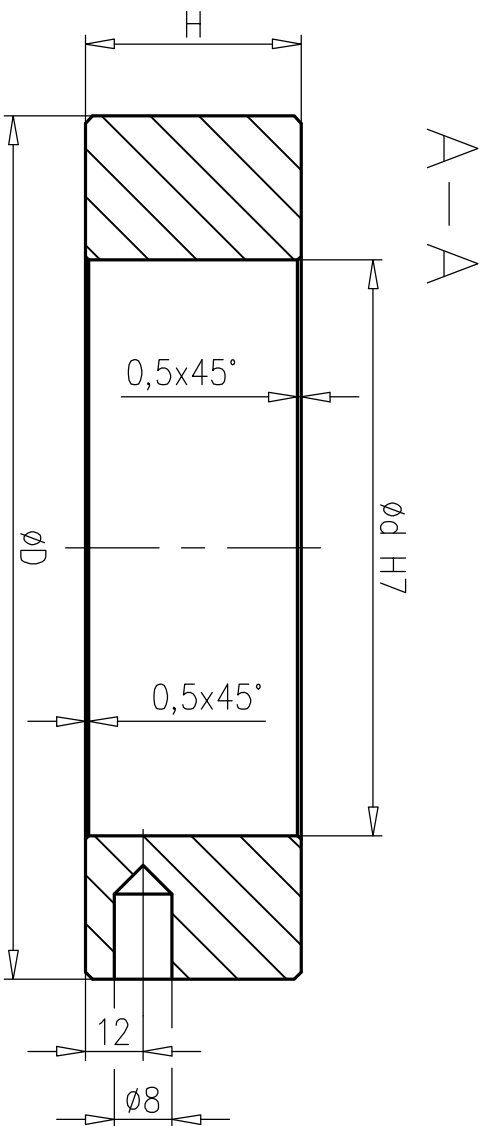
Obr.:3.112 - foto zničené destičky, zvětšeno 212x

Výrobní výkres objímky:

Číslo výkresu - STR 01 0000

Tímto bych rád poděkoval firmě Urdiamant s.r.o. Šumperk, jejímu vedení a personálu za poskytnutí zázemí a veškeré pomoci při měření.

Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc., za odborné vedení, připomínky a rady při řešení bakalářské práce.



DIA KOTOUČ \varnothing	$\varnothing d H7$	$\varnothing D$	H		L
75	75	111	46	72	13
100	100	136	46	72	13
100	100	136	80		13
125	125	173	46	72	15
150	150	198	46	72	15
175	175	223	46	72	15
200	200	248	46	72	15
250	250	312	46	72	20
280	280	342	46		20
300	300	362	72		20
350	350	412	72		20

$\sqrt{Ra\ 3,2}$ ($\sqrt{Ra\ 0,8}$ $\sqrt{Ra\ 1,6}$) KALIT, POPUSTIT

Typ: LISOVACÍ NÁSTROJ – PRYSKYŘICE		Materiál	19 436	T.0. 7
Index		Položkový $\varnothing(D+5) \times (H+7)$		
Měřtko		Číslo hmotnosti		
Změna		VŠB–TU Ostrava řádková strojní katedra výrobních strojů a konstruování		
Dne		Dne		
Přesnost ISO 8015 A NO		Tolerování ISO 2768 m K		
Kreslil		Název		
STRAKA JAKUB		HRC 58 ± 2		
Přezk.		Typ		
Technol.		Číslo výkresu		
Normol.		Č. kusov.		
Schválil		STR 01 0000		
Dne		22.4.2009		

OBJÍMK A

STR 01 0000

list 1